

Resum

Aquest projecte intenta comprovar fins a quin punt és possible donar abastament d'aigua calenta al sistema de calefacció i d'ACS en un habitatge plurifamiliar mitjançant la energia solar. Per a realitzar això s'ha estructurat el treball en quatre blocs principals.

En el primer bloc s'exposa tot el que fa referència a l'habitatge, característiques tèrmiques dels tancaments, localització, determinació de les zones climàtiques i les diferents temperatures d'ambient i d'aigua de xarxa per finalment aconseguir l'objectiu d'obtenir les necessitats energètiques mensuals de l'habitatge, que inclouen les de calefacció i les d'ACS.

Llavors, al segon bloc es desenvolupa tot el referent a la instal·lació solar, començant pel dimensionament del sistema de captació i el d'acumulació i seguint per tots els elements del circuit hidràulic, ja siguin vas d'expansió, bomba hidràulica, vàlvules i sistemes de regulació i control de la instal·lació...

Els darrers dos blocs, es basen en el mateix però un pel sistema d'ACS i l'altre pel de calefacció. Pel que fa al sistema d'ACS, la complexitat de desenvolupament és molt menor ja que a l'habitatge projectat ja existeix en l'actualitat un circuit de consum d'ACS, per tan en aquest bloc només s'ha de determinar com es produeix l'acoblament entre els dipòsits interacumuladors del sistema de captació, la caldera del sistema auxiliar i el circuit de consum d'ACS.

En canvi, al bloc on s'exposa tot el sistema de calefacció, malgrat l'habitatge també disposar ja d'un sistema de radiadors, s'ha cregut convenient realitzar un estudi per l'elecció del millor sistema de calefacció, el que permeti un menor consum i s'adeqüi més al sistema d'abastament mitjançant energia solar. Per després dimensionar-ne els elements principals i l'acoblament amb els dipòsits interacumuladors i la caldera del sistema auxiliar igual que al cas del sistema d'ACS.

Finalment, el projecte inclou un estudi econòmic, per comprovar la viabilitat de la inversió; també un estudi ambiental, on es quantifica quina reducció d'emissions de CO₂ representa la incorporació d'aquesta instal·lació solar tèrmica sobre el medi i una planificació de les diferents etapes desenvolupades al llarg del projecte.

Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
GLOSSARI.....	6
PREFACI	7
INTRODUCCIÓ	8
1 DESCRIPCIÓ DE L'HABITATGE	9
1.1 Dades prèvies.....	9
1.2 Dades climàtiques.....	13
1.2.1 Zona climàtica de la radiació solar	13
1.2.2 Zona climàtica instal·lació de calefacció.....	15
1.2.3 Temperatures	16
1.3 Necessitats de ACS.....	18
1.4 Necessitats de calefacció	20
1.5 Necessitats totals de l'habitatge	26
2 INSTAL·LACIÓ SOLAR.....	27
2.1 Caracterització de les exigències del CTE-DB-HE 4	27
2.2 Dimensionament de la instal·lació i quantificació de les exigències	29
2.2.1 Quantificació de les pèrdues	29
2.2.2 Predimensionament	31
2.2.3 Càlcul i comprovació del predimensionament amb el mètode F-Chart.....	33
2.2.4 Dimensionament	38
2.2.4.1 Sistema d'intercanvi	38
2.2.4.2 Sistema d'acumulació	39
2.2.4.3 Connexió dels captadors solars.....	39

2.2.4.4	Sistema hidràulic.....	40
2.2.4.5	Sistema de ompliment i buidat	50
2.2.4.6	Sistema de regulació i control	52
2.2.4.7	Sistema auxiliar	54
3	INSTAL·LACIÓ D'ACS	55
3.1	Introducció	55
3.2	Acoblament d'instal·lacions	55
3.3	Sistema hidràulic	56
3.4	Sistema de regulació i control	56
4	INSTAL·LACIÓ DE CALEFACCIÓ	58
4.1	Introducció	58
4.2	Acoblament d'instal·lacions	58
4.3	Sistema hidràulic de l'acoblament.....	59
4.4	Selecció sistema de calefacció	59
4.5	Terra radiant.....	60
4.5.1	Dimensionament terra radiant	63
4.5.1.1	Equip de distribució	63
4.5.1.2	Canonades amb barrera antidifusió d'oxigen	63
4.5.1.3	Grup impulsió	66
4.5.1.4	Banda perimetral	66
4.5.1.5	Panell portatubs.....	67
4.5.1.6	Morter.....	67
4.5.1.7	Altres	67
4.5.2	Elements de regulació i control	68
5	PROGRAMA DE MANTENIMENT	70
6	ESTUDI ECONÒMIC.....	73

6.1	Valor Actual Net (VAN)	74
7	ESTUDI AMBIENTAL	76
8	PLANIFICACIÓ	78
	CONCLUSIONS	80
	AGRAÏMENTS	81
	BIBLIOGRAFIA	82
	ANNEX	85

Glossari

ACS	Aigua Calenta Sanitària
CTE	Código Técnico de la Edificación
DB	Documento Básico
HE	Ahorro Energético
HS	Salubridad
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
UNE-EN	Una Norma Española-European Norm
AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación
ISO	International Standards Organization
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
ASIT	Asociación Solar de la Industria Térmica

Prefaci

Origen del projecte i motivació del projecte

En el moment de seleccionar quin projecte desenvolupar, es va buscar una temàtica que em permetés aprofundir en el coneixement d'alguna de les possibles especialitats que em plantejava cursar en el màster.

Si apart d'una voluntat personal d'augmentar el coneixement en l'àrea d'energies se li suma el gran ventall de possibilitats d'estudi i de sortides laborals que hi ha actualment en aquest àmbit, degut a la crisi del petroli i l'augment de la sensibilitat humana pel que fa al medi ambient i la recerca de noves maneres d'utilitzar les energies renovables. Realitzar un projecte d'aquesta temàtica era la millor idea.

Pel que fa a la selecció més exacta del projecte, un cop sabent que el volia desenvolupar sobre la temàtica de les energies, la idea va sorgir en intentar dur a terme un projecte que s'assimilés el màxim possible a un cas real i per tan la simplicitat s'havia de tenir en compte. Finalment l'elecció d'intentar abastir el sistema de calefacció i ACS en un habitatge és la que em va semblar més encertada.

Introducció

Objectius del projecte

L'objectiu del projecte és realitzar un estudi de l'abastiment del sistema de calefacció i d'ACS d'un habitatge plurifamiliar a partir d'energia solar. En aquest s'inclou un estudi exhaustiu del dimensionament de la instal·lació solar i d'un sistema de calefacció que permeti el mínim consum possible d'energia.

El que es volia aconseguir amb aquest treball és donar solució a un cas real, al que em podria trobar en el món laboral.

Abast del projecte

L'abast del projecte està limitat a seleccionar els millors sistemes per a garantir aquest abastiment de l'habitatge plurifamiliar mitjançant energia solar i els que menys consum produeixin. Alhora l'abast del projecte inclou de cada un d'aquests sistemes seleccionar i dimensionar els elements principals i com es connecten entre ells.

- Instal·lació solar: Dimensionament del sistema i dels elements principals i l'acoblament al sistema d'energia auxiliar de gas natural.
- Instal·lació d'ACS: Acoblament entre el sistema d'energia auxiliar i el sistema d'energia solar, i la xarxa de consum d'ACS existent a l'habitatge.
- Instal·lació de calefacció: Selecció de la tipologia de sistema, i dimensionament i selecció dels elements principals; també igual que en el cas del sistema d'ACS, acoblament entre el sistema d'energia auxiliar i el sistema d'energia solar per a proporcionar aigua al sistema de calefacció sota qualsevol circumstància.

En qualsevol de les diferents instal·lacions només es realitzarà un estudi merament teòric, sense tenir en compte res que estigui relacionat en l'execució real i pràctica de l'estudi.

1 Descripció de l'habitatge

1.1 Dades prèvies

Ubicació

L'habitatge al que es pretén fer la reforma del sistema de calefacció i d'ACS per a que es pugui abastir mitjançant energia solar tèrmica és el mas Molí de les Fonts, Olot.

La localització d'aquest habitatge és exactament a una latitud de 42,170995° i una longitud de 2,488726°.

Característiques

Habitatge plurifamiliar de tres plantes on només les dues superiors són habitables, la inferior disposa de locals de magatzem. La construcció data de principis de s.XIX i és d'estil típic de l'època, una mas de pedra volcànica. Òbviament ha estat restaurada en diverses ocasions però es desconeix si les bigues que encara hi ha són funcionals o no, per això no es pot implementar depèn de quina solució pel que fa a sistemes de calefacció i s'ha de procurar en la col·locació de dipòsits.

Transmitància tèrmica dels tancaments

La transmitància tèrmica expressa la capacitat aïllant d'un element constructiu particular format per una o més capes de materials. Físicament es podria definir com la energia que flueix en una unitat de temps, a través d'una unitat de superfície, quan hi ha un gradient tèrmic; és l'invers de la resistència tèrmica (R_T). La fórmula de la transmitància tèrmica és la [Equació 1](#).

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Equació 1. Equació pel càlcul de la transmitància tèrmica.

Essent:

- U: Transmitància tèrmica [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$].
- R: Resistència tèrmica [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}/\text{W}$].

Els tancaments dels espais habitables es poden classificar segons la seva situació en:

- **Cobertes:** Formen aquells tancaments en contacte amb l'exterior i que la seva inclinació és inferior a 60° respecte la horitzontal.
- **Façanes:** Formen aquells tancaments en contacte amb l'exterior i que la seva inclinació és superior a 60° respecte la horitzontal. La seva orientació es caracteritza mitjançant l'angle α que és el format pel nord geogràfic i la normal exterior de la façana, mesurat en sentit horari.
- **Terres:** Formen aquells tancaments horitzontals o lleugerament inclinats que estan en contacte amb l'aire, el terra o amb un altre espai no habitable.
- **Mitjaneres:** Formen aquells tancaments que limiten amb altres edificis, ja construïts o per construir i que formen una divisió comuna. De construir-se l'edifici contigu en posteritat es considerarà el tancament com una façana.
- **Particions horitzontals:** Formen aquells elements constructius horitzontals o verticals que separen l'interior de l'edifici en diferents parts.

És el CTE-DB-HE 1, l'apartat que limita la demanda energètica on es regula les transmissibilitats dels tancament de l'envolvent tèrmica en funció de la zona climàtica de l'habitatge. En el cas de l'habitatge d'aquest projecte es troba a la zona D2 i ha de complir els màxims establerts a la [Figura 1](#), obtinguda del document esmentat.

D.2.14 ZONA CLIMÀTICA D2

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno

$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Transmitancia límite de suelos

$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Transmitancia límite de cubiertas

$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Factor solar modificado límite de lucernarios

$F_{Lim}: 0,31$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5	2,9	3,5	3,5	-	-	-	0,58	-	0,61
de 31 a 40	2,2	2,6	3,4	3,4	-	-	-	0,46	-	0,49
de 41 a 50	2,1	2,5	3,2	3,2	-	-	0,61	0,38	0,54	0,41
de 51 a 60	1,9	2,3	3,0	3,0	0,49	-	0,53	0,33	0,48	0,36

Figura 1. Paràmetres característics de l'envolvent de la zona climàtica D2. Font: [1]

A l'habitatge del projecte hi ha els següents tancaments, com es pot comprovar en els plànols esquemàtics que hi ha a l'apartat 4 de l'annex:

- **Tancament vertical:** Aquest tancament es tracta d'una façana de l'habitatge. Per això tindrà una cara que donarà a la part interior i una altra que donarà a l'exterior. Ha de respectar la normativa establerta al CTE-CD-HE 1, taula 2.3, zona D, de tancaments verticals, que estableix un valor de transmitància tèrmica màxima de $0,66 \text{ [W/m}^2\cdot\text{°K]}$.

La façana és de pedra natural porosa volcànica ($\lambda=0,55$) de 0,2 [m] de gruix per la part exterior, té una capa d'aïllant amb espuma poliuretà ($\lambda=0,027$) de gruix de 0,05 [m], una capa de morter ($\lambda=0,41$) de gruix 0,05 [m] i una capa d'enlluït de guix ($\lambda=0,18$) de gruix 0,015 [m]. Amb aquestes capes de diferents materials i gruixos, la resistència tèrmica és de 2,42 [$\text{m}^2\cdot\text{°K/W}$] i la transmitància tèrmica U és de $0,413 \text{ [W/m}^2\cdot\text{°K]}$.

- **Tancament vertical d'obertures:** Són tots aquells que tenen la funcionalitat de tancar l'habitatge en els espais on no hi ha façana, com ara finestres i portes. La major part de la superfície és de vidre ja que proporcionalment les finestres tenen molta més àrea que les portes. En l'habitatge estudiat no hi ha ponts tèrmics ja que no hi ha presència de persianes, ni de cap material que provoqui el trencament de la uniformitat de l'envolvent. Ha de respectar la normativa establerta al CTE-CD-HE 1, taula 2.3, zona D, de tancaments verticals, que estableix un valor de transmitància tèrmica màxima de $2,7 \text{ [W/m}^2\cdot\text{°K]}$.

En aquesta tipologia de tancament la normativa és més exigent i el CTE-DB-HE 1, taula D2, [Figura 1](#), informa de les U límits en funció del percentatge d'obertures de la façana respecte la seva superfície total i la orientació que tingui aquesta.

Façana	A _{TOT} [m ²]	A _{FORAT} [m ²]	% Obertures	U _{LÍM} [W/m ² ·°K]
SO	50,69	11,2	22,10	3,5
NE	50,69	5,42	10,69	3,5
NO	56,25	1,89	3,36	3,5
SE	56,25	1,89	3,36	3,5

Taula 1. Informació de les diferents façanes que formen els tancaments verticals. Font pròpia.

Les obertures estan conformades gairebé en la seva totalitat de vidre ja que es tracten de finestres. Concretament, es vidre de doble capa, on hi ha una primera capa de vidre de 4 [mm], una cambra d'aire ($\lambda=0,03$) de 6 [mm] i una altra capa de vidre de 4 [mm]. Com que hi ha moltes composicions per a fer el vidre, l'organisme IDAE en el document "Soluciones con aislamientos de lana mineral" estableix que en la configuració típica de doble vidre la 4-6-4 la transmitància tèrmica $U=3,3$ [$\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{K}$]. Tanmateix cal esmentar que malgrat la majoria de les obertures són finestres hi ha dues portes de fusta de roure ($\lambda=0,209$) de gruix de 6 [cm], on la resistència tèrmica és de $0,287$ [$\text{m}^2\cdot^\circ\text{K}/\text{W}$] i la transmitància tèrmica U és de $3,48$ [$\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{K}$]. [2]

En les dues tipologies d'obertures es compleix la norma i estan per sota de la transmitància tèrmica màxima, però com que la superfície que ocupen les finestres és molt major que les de les portes, a partir d'aquí es procedirà en el treball a utilitzar el valor de $U=3,3$ [$\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{K}$] com a transmitància del tancament vertical d'obertures.

En la [Taula 1](#) es mostra la informació relativa a les transmitàncies tèrmiques en funció de les façanes de l'habitatge.

- Tancament terra: Aquest tancament horitzontal és el que fa la separació del pis de baix i els locals magatzems i quadres de la planta més baixa. Per la seva funció no ha de ser un tancament especialment impermeable, ja que les dues zones es troben al interior de l'envolvent de l'habitatge. Ha de respectar la normativa establerta al CTE-CD-HE 1, taula 2.4, zona D, de particions interiors en contacte amb espais no habitables, que estableix un valor de transmitància tèrmica màxima de $0,49$ [$\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{K}$].

El tancament horitzontal està compost de diferents capes, una capa de formigó armat ($\lambda=2,3$) de 0,3 [m], una capa d'aïllant d'espuma de poliuretà ($\lambda=0,027$) de gruix de 0,03 [m], una altra capa de formigó autonivellant ($\lambda=1,15$) de gruix 0,05 [m] i una última capa de paviment ceràmic ($\lambda=0,02$) de gruix 0,02 [m]. Amb aquestes capes de diferents materials i gruixos, la resistència tèrmica és de $2,285$ [$\text{m}^2\cdot^\circ\text{K}/\text{W}$] i la transmitància tèrmica U és de $0,44$ [$\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{K}$].

- **Tancament coberta:** Aquest tancament horitzontal es tracta d'una coberta i és la que fa la separació de l'habitatge amb l'exterior per la part superior i forma part de l'envolvent de l'habitatge. Ha de respectar la normativa establerta al CTE-CD-HE 1, taula 2.3, zona D, de cobertes i terres en contacte amb l'aire, que estableix un valor de transmissió tèrmica màxima de $0,38 \text{ [W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K]}$.

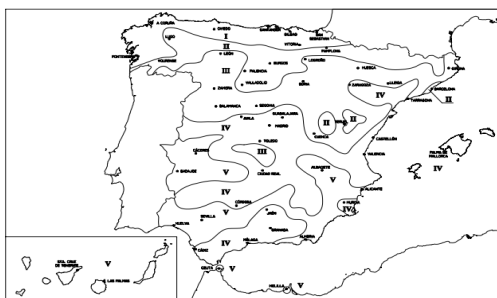
El tancament horitzontal està compost de diferents capes, una capa d'enlluït de guix ($\lambda=0,18$) de gruix $0,015 \text{ [m]}$, una capa de formigó armat ($\lambda=2,3$) de gruix $0,3 \text{ [m]}$, una capa d'espuma de poliuretà ($\lambda=0,027$) de gruix $0,06 \text{ [m]}$, una capa de morter ($\lambda=0,41$) de gruix $0,05 \text{ [m]}$ i una última capa de teula àrab ($\lambda=1,3$) de gruix $0,12 \text{ [m]}$. Amb aquestes capes de diferents materials i gruixos, la resistència tèrmica és de $2,647 \text{ [m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W]}$ i la transmissió tèrmica U és de $0,378 \text{ [W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K]}$.

1.2 Dades climàtiques

1.2.1 Zona climàtica de la radiació solar

El document que regula les instal·lacions solar tèrmiques per a la producció de ACS és el CTE-DB-HE 4 "Contribución solar mínima de agua sanitaria" i aquest té la seva pròpia classificació de zones climàtiques. [3]

La zona climàtica és un paràmetre característic que s'estableix en funció de la radiació solar global mitjana diària sobre les superfícies horitzontals. Com s'aprecia en la Figura 2, obtinguda de l'apartat 2 "Caracterización y cuantificación de las exigencias" del document a que es fa referència en aquest apartat, donada la ubicació de la instal·lació, corresponent a la ciutat d'Olot, aquesta es troba a la zona climàtica III.



GIRONA	Blanes	III
	Figuera	III
	Girona	III
	Olot	III
	Salt	III

Figura 2. Mapa de les zones climàtiques d'Espanya i classificació de diferents ciutats importants de la província de Girona. Font: [3]

La [Figura 2](#) també present en el mateix document, mostra les zones climàtiques on es trobaven algunes poblacions de la província de Girona. En aquest se'ns defineix Olot com a zona climàtica III, com ja s'havia observat al mapa.

Radiació mensual

L'energia disponible en un emplaçament es pot avaluar a partir de valors estadístics basats en les mesures de les estacions meteorològiques. Per disponibilitat i fiabilitat, les dades de radiació que s'utilitzen en aquest projecte són del *Joint Research Centre* de la Comissió Europea, concretament un mapa interactiu del *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS). [4]

Aquest sistema ofereix dades de radiació solar global diària sobre superfícies inclinades, amb diferents orientacions i amb percentatge de pèrdues i, finalment el valor mitjà anual.

Per a poder aprofitar al màxim la radiació solar, s'ha de conèixer amb exactitud la localització on es vol projectar la instal·lació, per a permetre la millor configuració del captadors solars i així maximitzar-ne el seu rendiment. Els paràmetres que permeten obtenir aquest màxim energètic són la orientació i la inclinació dels captadors solars respecte els raigs solars, obtenint el seu màxim amb una incidència perpendicular dels raigs.

Generalment, les localitzacions de l'hemisferi nord orienten els captadors cap al sud a causa de la inclinació de la Terra. En canvi, les localitzacions que es troben al sud orienten al revés. Alhora, la configuració de la inclinació dels captadors es maximitza com més lluny estan situats aquests de l'equador, entenen una configuració completament plana si es troben sobre al mateix. Com a regla general la inclinació dels captadors solars pren el mateix valor que la latitud on estan ubicats, però si es creu que el consum augmentarà en algun moment de l'any, aquesta inclinació variarà. En el cas de tenir una demanda preferent durant l'hivern, se li hauran de sumar 10° al valor de la latitud, en canvi de tenir la demanda preferent a l'estiu s'hauran de restar 10° a la mateixa.

Configurant-la amb una orientació de 44°, una inclinació de 50° i un percentatge de pèrdues del sistema d'un 10%, l'aplicació ens dóna els valors de la irradiació expressats a la [Taula 2](#).

	Radiació $\left[\frac{KWh}{m^2 \cdot dia}\right]$
Gener	3,45
Febrer	4,33
Març	5,16
Abril	4,86
Maig	5,22
Juny	5,68
Juliol	5,74
Agost	5,63
Setembre	5,07
Octubre	4,35
Novembre	3,45
Desembre	3,21

Taula 2. Valors de radiació mitjana mensual de la localitat d'Olot. Font: [4]

1.2.2 Zona climàtica instal·lació de calefacció

El document que regula les demandes energètiques dels edificis és el CTE-DB-HE 1 "Limitación de la demanda energética" i aquest té la seva pròpia classificació de zones climàtiques. [1]

Donada la ubicació de l'habitatge projectat, tots els càlculs que facin referència a la demanda energètica de l'edifici, transmissió tèrmica o càrregues tèrmiques, els valors que s'hauran de prendre han de ser els de la zona climàtica D2.

La [Figura 3](#) obtinguda del annex B, apartat B.1 "Zonas climáticas" del document a la que s'està fent referència en aquest apartat, determina la zona climàtica. A la taula s'accedeix per la capital de província, Girona, i la alçada respecte el nivell de mar a la que es troba ubicat l'habitatge, $z=443$ [m] (Olot). Com que l'alçada és inferior a 600 [m], la zona climàtica a la que correspon l'habitatge projectat és la D2.

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054														h < 550	h < 850	h ≥ 850
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450			
Barcelona	C2	1											h < 250		h < 450	h < 750	h ≥ 750	
Bilbao/Bilbo	C1	214											h < 250			h ≥ 250		
Burgos	E1	861															h < 600	h ≥ 600
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0		h < 150				h < 450				h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18						h < 50				h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0						h < 50										
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h ≥ 500			
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200			h ≥ 200	
Cuenca	D2	975													h < 800	h < 1050		h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143										h < 100				h < 600		h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h ≥ 1300

Figura 3. Zones climàtiques de la Península Ibèrica. Font [1]

1.2.3 Temperatures

Temperatura ambient mensual

Amb la mateixa aplicació del *Joint Research Centre* de la Comissió Europea, del mapa interactiu del PVGIS [4], s'han extret els valors de la temperatura ambient mensual, que s'observen a la Taula 3 següent:

	Temperatura Ambient [°C]
Gener	5,7
Febrer	6,5
Març	9,2
Abril	11,8
Maig	15,5
Juny	19,9
Juliol	22,0
Agost	22,1
Setembre	18,2
Octubre	14,9
Novembre	9,6
Desembre	6,3

Taula 3. Temperatura ambient mitjana mensual de la localitat d'Olot. Font [4]

Temperatura mitjana de l'aigua freda de la xarxa

La demanda d'energia tèrmica depèn directament de la temperatura de l'aigua de la xarxa, de manera que la demanada d'energia augmenta a mesura que disminueix la temperatura d'entrada de l'aigua de la xarxa.

D'aquesta temperatura només es publiquen els valors de les capitals de província, segons la norma UNE EN 94002:2005, [5]. Però es poden aconseguir els valors de qualsevol població prenent com a referència el valor de la seva capital de província i aplicant **Equació 2** que proposa la pròpia norma. A la **Taula 4** es recullen els valors de la temperatura de xarxa a la localitat d'Olot de cada mes.

$$T_{AFY} = T_{AFCP} - B \cdot \Delta z$$

Equació 2. Equació pel càlcul de la temperatura de l'aigua de la xarxa. Font [5]

Essent:

- B: Constant que pren els valors
 $B = 0,0066$ pels mesos de Octubre a Març.
 $B = 0,0033$ pels mesos de Abril a Setembre.
- Δz : Diferència d'alçada [m], entre la localitat d'estudi i la capital de província. Si la localitat està a més alçada que la capital Δz és positiu, i negatiu en cas contrari. $\Delta z = 373$ [m].
- T_{AFCP} : Temperatura de l'aigua de la xarxa a la capital de província, Girona [°C].
- T_{AFY} : Temperatura de l'aigua de la xarxa a la en l'emplaçament de la instal·lació, Olot [°C].

	T_{AFCP} [°C]	B	Δz [m]	T_{AFY} [°C]
Gener	8	0,0066	373	5,5
Febrer	9	0,0066	373	6,5
Març	10	0,0066	373	7,5
Abril	11	0,0033	373	9,8
Maig	14	0,0033	373	12,8
Juny	6	0,0033	373	14,8
Juliol	19	0,0033	373	17,8
Agost	18	0,0033	373	16,8
Setembre	17	0,0033	373	15,8
Octubre	14	0,0066	373	11,5
Novembre	10	0,0066	373	7,5
Desembre	9	0,0066	373	6,5

Taula 4. Temperatures mitjanes mensuals de l'aigua de xarxa de la localitat d'Olot

1.3 Necessitats de ACS

Càlcul del consum d'ACS

La demanda energètica per a satisfer les necessitats d'ACS que es calculen en aquest apartat es realitzen sota les condicions del CTE-DB-HE 4. [3]

Per aconseguir el valor de la demanda es prendran els valors unitaris de consum d'aigua que ens proporciona la taula de la [Figura 4](#), on la temperatura de referència és de 60 [°C].

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona

Figura 4. Taula de consum diari per persona d'un habitatge. Font: [3]

Com s'observa, al tractar-se d'un habitatge la demanda és de $28 \left[\frac{L}{dia \cdot pers.} \right]$. Aquests valors unitaris de la taula s'han calculat a partir del consum unitari diari mitjà de la norma UNE EN 94002:2005 [5].

Donat que l'habitatge és d'ús residencial, el càlcul del nombre de persones que l'habiten, per tal d'aconseguir un mínim, el CTE el fa en funció del nombre de dormitoris com es mostra a la [Figura 5](#).

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	más de 7
Número de Personas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº de dormitorios

Figura 5. Taula pel càlcul del nombre mínim d'ocupants en un habitatge en funció del nombre de dormitoris. Font: [2]

Seguint aquest mètode, ja que l'habitatge en qüestió té 4 dormitoris, li corresponen com a mínim 6 ocupants i per això es pot precisar una demanda mínima de ACS de 168 [L/dia], com s'observa a la [Equació 3](#).

$$Q = 6 [persona] * 28 \left[\frac{L}{dia \cdot persona} \right] = 168 \left[\frac{L}{dia} \right]$$

Equació 3. Càlcul del consum d'ACS diari de l'habitatge plurifamiliar

Per evitar el sobredimensionat de la instal·lació, és pot considerar que aquest valor de consum no és real perquè no sempre hi haurà una plena ocupació de l'habitatge. Llavors, s'aplica un factor de

simultaneïtat, que permet reduir aquest consum per aconseguir un valor més real. Es pren un factor de simultaneïtat de 0,75, resultant un consum final més reduït a 126 [L/dia].

Càlcul demanda energètica d'ACS

La demanda d'energia tèrmica per la producció d'aigua calenta sanitària s'ha de determinar amb anterioritat al dimensionament de la instal·lació solar. Els factors que influeixen en aquesta demanda són el consum d'aigua calenta, la temperatura de consum i la temperatura d'aigua de la xarxa, i aquests segueixen la [Equació 4](#).

$$\text{Demanda d'ACS} = C_{dia} \cdot N \cdot (T_{ACS} - T_{AFY}) \cdot C_p$$

Equació 4. Fórmula pel càlcul de la demanda d'ACS de l'habitatge. Font: [6]

Essent:

- Demanda d'ACS: càrrega calorífica mensual de escalfament ACS en [KWh/mes]
- C_{dia} : Consum diari d'aigua a T_{ACS} en [L/dia].
- N: Nombre de dies del mes considerat [dies/mes].
- C_p : Calor específic de l'aigua és de 0,001163 [$KWh/Kg \cdot ^\circ C$].
- T_{ACS} : Temperatura de l'aigua ACS, 60 [$^\circ C$].
- T_{AFY} : Temperatura de l'aigua de la xarxa [$^\circ C$].

	Dies mes	C_{dia} [L/dia]	ΔT [$^\circ C$]	Demanda d'ACS [KWh/mes]
Gener	31	126	54,5	247,58
Febrer	28	126	53,5	219,52
Març	31	126	52,5	238,49
Abril	30	126	50,5	220,69
Maig	31	126	47,2	214,41
Juny	30	126	45,2	198,71
Juliol	31	126	42,2	191,70
Agost	31	126	43,2	196,24
Setembre	30	126	44,2	194,31
Octubre	31	126	48,5	220,32
Novembre	30	126	52,5	230,80
Desembre	31	126	53,5	243,03

Taula 5. Demanda mensual d'ACS en funció de l'increment de temperatura i el mes. Font pròpia

1.4 Necessitats de calefacció

La demanda energètica dels edificis es limita en funció de la zona climàtica de la localitat on hi hagi la instal·lació i del seu us previst. El dimensionament del sistema de calefacció en un habitatge d'ús privat es basa en compensar les pèrdues de calor que pateix l'habitatge a través de la seva envoltant tèrmica, composta per tots els tancament que limiten els espais habitables amb l'ambient exterior (aire, terreny o un altre edifici).

Si es volgués realitzar un càlcul molt exhaustiu s'haurien de contemplar també els tancaments interiors de l'habitatge que separen un local calefactat d'un altre també calefactat, però com que la diferència de temperatura serà zero, les càrregues tèrmiques queden anul·lades i per això en aquest projecte no se'ls estudiarà.

La temperatura mitjana que es tindrà a l'habitatge serà composta per la temperatura de confort de 22 [°C] des de que la gent es desperta fins que se'n va a dormir, o sigui de les 7 hores fins les 23 hores, i la temperatura de dormir que els darrers estudis recomanen uns 17 [°C]. Amb aquestes temperatures s'obté una temperatura mitjana diària de 20,3 [°C], per tan tots els càlculs es realitzaran amb una temperatura constant de 20°C. [7]

Càlcul càrrega tèrmica

La càrrega tèrmica ens indica les pèrdues energètiques que han de ser compensades pel sistema de calefacció per aconseguir les condicions de confort.

El mètode pel càlcul de les necessitats de calefacció, [Equació 5](#), contempla l'existència de dues càrregues tèrmiques, la càrrega tèrmica per transmissió de calor a través dels tancaments cap a l'exterior, ja siguin locals no climatitzats o l'exterior, la càrrega tèrmica per ventilació mitjançant infiltracions d'aire exterior i el guany intern de calor.

$$Q = Q_t + Q_v + Q_i$$

Equació 5. Fórmula càlcul de la càrrega tèrmica d'un habitatge. Font: [1]

Essent:

- Q : Càrrega tèrmica de calefacció [W].
- Q_t : Càrrega tèrmica de transmissió de calor [W].
- Q_v : Càrrega tèrmica per ventilació [W].

- Q_i : Guany intern de calor [W].
- Càrrega tèrmica per transmissió de calor: Per a poder realitzar el càlcul de la calor de transmissió de calor, s'ha de realitzar un estudi previ de les diferents tipologies de tancaments que hi ha a l'envolvent de l'habitatge, així com la superfície que ocupen, Taula 1. En la transmissió de calor entre dos medis de temperatures diferents, ambdós constant, separats per un mur es produeixen els efectes de conducció, convecció i radiació, en el sentit decreixent de la temperatura.

En el cas d'un tancament d'espessor Δx , Figura 6, les dues cares d'aquest estan a T_1' i T_2' , i els medis separats pel mur a temperatures T_1 i T_2 respectivament, entenent que $T_1 > T_1' > T_2' > T_2$, com s'observa a la Figura 6.

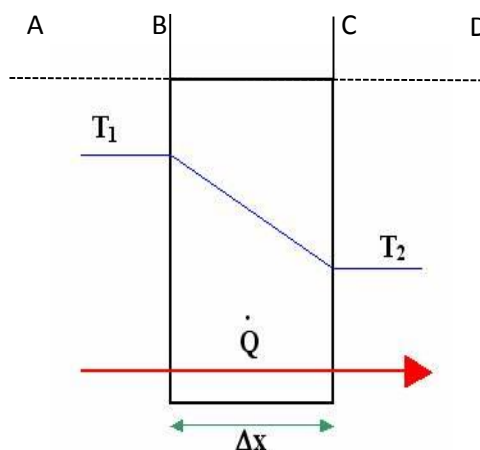


Figura 6. Esquema de la transmissió de la calor. Font pròpia

En el medi AB, la transmissió de calor es produeix per convecció i radiació; en el medi BC, pròpiament la paret, la calor es transmet per conducció i en el medi CD la calor es torna a transmetre per convecció i radiació.

Seguidament s'ha de calcular de cada un dels tancament que formen l'envolvent tèrmica el coeficient de transmissió tèrmica i l'àrea. Aquesta àrea es calcularà a partir dels metres lineals de perímetre dels tancament per l'alçada del mateix. Pel que fa als coeficients de transmissió tèrmica dels diferents tancaments, han de complir la normativa del CTE-DB-HE 1, que regula les transmissàncies màximes per a qualsevol tipus de tancament i la zona climàtica D2, Figura 1.

La Equació 6 és la que permet el càlcul de la càrrega tèrmica per transmissió de calor:

$$Q_t = \Sigma [U \cdot A \cdot (T_i - T_e)]$$

Equació 6. Fórmula pel càlcul de la càrrega tèrmica per transmissió de calor. Font: [8]

Essent:

- U : Coeficient de transmissió tèrmica del tancament [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$], Taula 4 (Annex).
- A : Superfície de transmissió de calor del tancament [m^2].
- T_i : Temperatura del interior del local escalfat, $20\text{ }^\circ\text{C}$.
- T_e : Temperatura del exterior [$^\circ\text{C}$], Taula 6 (Annex).

Si el tancament fos compost de capes de materials diferents, el coeficient de transmissió tèrmica, U , es calcularia mitjançant la Equació 7.

$$U = \frac{1}{\left[\Sigma \left(\frac{i}{\lambda} \right) + \Sigma R + \left(\frac{1}{h_i} \right) + \left(\frac{1}{h_e} \right) \right]}$$

Equació 7. Càlcul de la transmitància

Essent:

- i : Gruix de la capa [m].
- λ : Conductivitat tèrmica del material de la capa [$\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$].
- R : Resistència tèrmica superficial [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$].
- h_i : Coeficient superficial de transmissió de calor al interior [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$].
- h_e : Coeficient superficial de transmissió de calor al exterior [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$].

Els resultats obtinguts de la càrrega tèrmica per transmissió de calor per als dos habitatges són els que es mostren a la Taula 6. A l'Annex d'aquest projecte es mostren els càlculs més detallats, concretament a la Taula 3 (Annex), es poden observar els m^2 de superfície d'obertura que hi ha a cada façana i a cada un dels habitatges. També a la Taula 5 (Annex) hi ha la superfície total de tots els tancaments i també es pot observar a les Taules 7 i 8 (Annex) de manera detallada la càrrega tèrmica mensual dels diferents tancaments en funció de l'habitatge i el càlcul de la demanda energètica a la Taula 9 (Annex).

	Q transmissió de calor [W]
Gener	3341,37
Febrer	3154,44
Març	2523,56
Abril	1916,03
Maig	1051,48
Juny	23,36
Juliol	0
Agost	0
Setembre	420,59
Octubre	1191,68
Novembre	2430,09
Desembre	3201,18

Taula 6. Càrrega tèrmica per transmissió de calor.

- Càrrega tèrmica per ventilació: La càrrega tèrmica per ventilació, Taula 7, són les pèrdues de calor a causa de la renovació de l'aire interior de local amb l'objectiu de mantenir unes condicions sanitàries òptimes a l'interior. Aquesta ventilació es pot produir de manera forçada, quan nosaltres obrim les finestres, o també pot ser espontània mitjançant infiltracions d'aire a través d'escletxes. L'expressió que calcula aquestes pèrdues és la Equació 8.

$$Q_v = n \cdot (V/3600) \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_i - T_e)$$

Equació 8. Equació pel càlcul de la càrrega tèrmica de ventilació. Font: [8]

Essent:

- n : Nombre de renovacions d'aire en el local per hora [h^{-1}].
- V : Volum del local [m^3].
- ρ : Densitat de l'aire en condicions normals [Kg/m^3].
- C_p : Calor específica a pressió constant de l'aire [$\text{KJ}/\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}$].

Però depenent de en quines unitats estiguin les dades de que es disposa, la fórmula canvia. En el cas de treballar les dades en [L/s], llavors, l'expressió a utilitzar serà la Equació 9.

$$Q_v = (C/1000) \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_i - T_e)$$

Equació 9. Equació pel càlcul de la càrrega tèrmica de ventilació. Font: [8]

Essent:

- C: Cabal de l'aire renovat [L/s].

De les dues possibilitats de càlcul de la càrrega tèrmica per ventilació s'ha acabat utilitzant la segona fórmula ja que seguint de norma del CTE-DB-HS 3, apartat que regula la qualitat de l'aire interior, ens classificava en [L/s] el cabal necessari per estança en funció de la persones que l'ocupaven o la superfície de local, per a mantenir unes condicions de salubritat òptimes per viure. Aquest cabals es mostren a la Taula 10 (Annex), on conjuntament amb la Taula 11 i 12 (Annex) que expressen els valors constants que s'utilitzen en la Equació 9.

A la Taula 7 hi ha els valors de la càrrega tèrmica de ventilació en funció del mes, però si es vol veure d'on s'obtenen aquest valors a la Taula 13 (Annex) estan desglossats en funció de si es tracta l'habitatge de d'alt o el de baix i alhora es mostra els valors de temperatura que s'han utilitzat a cada mes per a realitzar el càlcul.

	Q ventilació [W]
Gener	2722,67
Febrer	2570,35
Març	2056,28
Abril	1561,25
Maig	856,78
Juny	19,04
Juliol	0
Agost	0
Setembre	342,71
Octubre	971,022
Novembre	1980,13
Desembre	2608,43

Taula 7. Càrrega tèrmica de ventilació

A l'annex també es disposa dels valors únicament de la demanda energètica de necessitats de calefacció per ventilació a la Taula 14 (Annex).

- Guany intern de calor: Els habitatges a part de tenir pèrdues de calor, també tenen guanys interns, deguts per exemple a la pròpia ocupació per persones, xemeneies... Malgrat que en un principi no es podria despreciar en l'estudi, el problema resideix en que aquests guanys només hi són presents temporalment, quan hi han persones a l'estança o quan hi ha alguna

estufa oberta. És per culpa d'aquesta temporalitat que el dimensionament tenint en compte aquest factor seria irreal, per tant en el desenvolupament d'aquest estudi no es tindran en compte.

Càlcul de la demanda elèctrica

Quan es tenen els resultats de les pèrdues de calor que s'han de compensar o sigui la càrrega tèrmica dels habitatges, per obtenir l'energia necessària s'ha de multiplicar pel temps d'exposició a que estaran en aquestes condicions. Els resultats es poden observar a la [Taula 8](#), classificats segons el mes en que es produeixen.

	Dies mes	Q transmissió de calor [W]	Q ventilació [W]	Demanda calefacció [KWh/mes]
Gener	31	3341,37	2722,67	4511,64
Febrer	28	3154,44	2570,35	3847,06
Març	31	2523,56	2056,28	3407,40
Abril	30	1916,03	1561,25	2503,64
Maig	31	1051,48	856,78	1419,75
Juny	30	23,36	19,04	30,53
Juliol	31	0	0	0
Agost	31	0	0	0
Setembre	30	420,59	342,71	549,58
Octubre	31	1191,68	971,022	1609,05
Novembre	30	2430,09	1980,13	3175,35
Desembre	31	3201,18	2608,43	4322,35

Taula 8. Demanda mensual de calefacció

1.5 Necessitats totals de l'habitatge

Per tan les necessitats de l'habitatge projectat són la suma de les demandes d'ACS i de calefacció i el resultat obtingut es mostra a la [Taula 9](#) següent.

	Dies mes	Demanda d'ACS [KWh/mes]	Demanda calefacció [KWh/mes]	Demanda total [KWh/mes]
Gener	31	247,58	4511,64	4759,22
Febrer	28	219,52	3847,06	4066,58
Març	31	238,49	3407,40	3645,89
Abril	30	220,69	2503,64	2724,33
Maig	31	214,41	1419,75	1634,16
Juny	30	198,71	30,53	229,24
Juliol	31	191,70	0	191,7
Agost	31	196,24	0	196,24
Setembre	30	194,31	549,58	743,84
Octubre	31	220,32	1609,05	1829,37
Novembre	30	230,80	3175,35	3406,15
Desembre	31	243,03	4322,35	4565,38

Taula 9. Demanda mensual total de l'habitatge

2 Instal·lació solar

2.1 Caracterització de les exigències del CTE-DB-HE 4

Les exigències que han de complir aquests projectes venen imposades pel CTE. Aquest organisme publica en els seus documents bàsics el conjunt de normes que regulen la construcció d'edificis a Espanya de del 2006. [3]

El CTE reuneix un conjunt de normes, cadascuna anomenada Document Bàsic. Per a la realització d'aquest projecte s'haurà de complir concretament el Document Bàsic d'Habitabilitat i exactament l'apartat d'Estalvi d'Energia (DB HE) on es recull la normativa a respectar quan s'instal·la un sistema que funciona amb energia solar. A la secció 4 del DB HE es troben els sistemes que s'ocupen de generar ACS i estableix l'objectiu, les exigències, els mètodes de verificació i les solucions acceptades.

Aquest projecte d'estudi estaria inclòs en l'apartat a) del àmbit d'aplicació ja que fa referència a un edifici existent al que se li aplicarà una reforma de la instal·lació tèrmica i existeix una demanda d'aigua calenta sanitària.

S'estableix una contribució mínima d'energia solar tèrmica en funció de la zona climàtica i la demanda de ACS.

Contribució solar mínima

El CTE estableix una aportació mínima d'energia solar tèrmica per a produir aigua calenta sanitària a totes les construccions noves o edificis on es realitzi una rehabilitació d'importància. Aquesta contribució solar mínima anual és la fracció entre els valors anuals de la energia solar aportada exigida i la demanda energètica anual i dependrà de la zona climàtica de la localització de la instal·lació i la demanda d'ACS.

Aquest document proporciona unes taules de referència, on a partir de la zona climàtica i diferents nivells de demanda d'ACS a una temperatura de referència de 60 [°C], t'indica quina contribució solar mínima anual t'exigeix per a satisfer les necessitats de ACS.

La taula de la [Figura 7](#) és l'adequada donades les característiques d'aquest projecte ja que es tracta del cas general, que suposa una font energètica de recolzament que no sigui electricitat, en el nostre cas de gas natural. En aquesta se'ns indica la contribució solar mínima anual exigida per cobrir les necessitats d'ACS.

Demanda total de ACS del edifici (l/d)	Zona climàtica				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	50	60	70	70

Figura 7. Taula resum de la contribució solar mínima en funció de la demanda d'ACS [L/s] i la zona climàtica. Font: [3]

Disposant de la informació de la zona climàtica i la demanda, es pot aconseguir definir la contribució mínima anual de ACS d'obligat compliment de la Instal·lació. A partir de la taula de l'apartat 2.1, del document CTE-DB-HE 4, es determina que la contribució mínima haurà de ser del 40%.

Pèrdues per orientació, inclinació i ombres

Les pèrdues són el percentatge de radiació solar que deixarà d'incidir en els captadors solars donada la nostra configuració en comparació amb la radiació solar que incidiria sobre els mateixos però orientats al Sud, a la inclinació òptima i sense ombres, on obtindrien la màxima radiació possible.

En aquest projecte, com s'ha esmentat es treballa en el cas general ja que els captadors no formen part de l'estructura de l'edifici, no tenen cap funció arquitectònica. Tampoc tindran la mateixa inclinació que l'envolvent de l'edifici on es situïn, en aquest cas la teulada de més alçada, per tant, no es tracta del segon cas que és la superposició de captadors.

Llavors, sabent en quin cas es treballa, mitjançant la taula de la Figura 8, es pot saber quins percentatges de pèrdues màximes s'han de respectar en quant a orientació i inclinació, ombres i el total.

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición de captadores	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica de captadores	40 %	20 %	50 %

Figura 8. Percentatges màxims de pèrdues permesos en funció de la tipologia d'integració del sistema solar al habitatge. Font: [3]

2.2 Dimensionament de la instal·lació i quantificació de les exigències

2.2.1 Quantificació de les pèrdues

Pèrdues per orientació i inclinació

En aquest apartat es determinen els límits en la orientació i la inclinació dels captadors per tal de respectar les pèrdues màximes admissibles.

Els paràmetres que permeten realitzar els càlculs són:

- Angle d'inclinació (β): És l'angle que forma la superfície de captació respecte la horitzontal. El seu valor és de 0° quan la superfície resta paral·lela a la horitzontal i 90° quan és perpendicular. En aquest estudi la inclinació serà de 50° , donada la latitud on estan localitzats 40° , més 10° per la preferència de demanda energètica a l'hivern.
- Angle azimut (α): És l'angle entre la projecció sobre el pla horitzontal de la normal de la superfície de captació i el meridià del lloc. Els valors de referència són els 0° per a captadors amb orientació sud, 90° pels orientats al oest i -90° orientació est. En aquest estudi la orientació és de 44° . A la [Figura 9](#) es mostra la inclinació que té la perpendicular a la teulada on hi haurà les captadors solars respecte la vertical que representa l'eix N-S.



Figura 9. Captura del plànol en planta de l'habitatge que disposa el cadastre, sobre el que s'ha treballat per obtenir la orientació de la teulada on van ubicats els captadors solars. Font: [9]

Per calcular el percentatge de pèrdues provocades per la orientació i la inclinació, s'utilitza la [Figura 10](#), que correspon a un gràfic al que s'accedeix per mitjà dels valors de l'angle d'inclinació 50° i l'angle azimut 44° i com a resultat et situa a una zona del mapa al que està assignat un percentatge de pèrdues. Concretament en aquest projecte la zona corresponent és la tercera començant des de d'alt i té assignat

un rang de pèrdues d'entre el 5-10%.

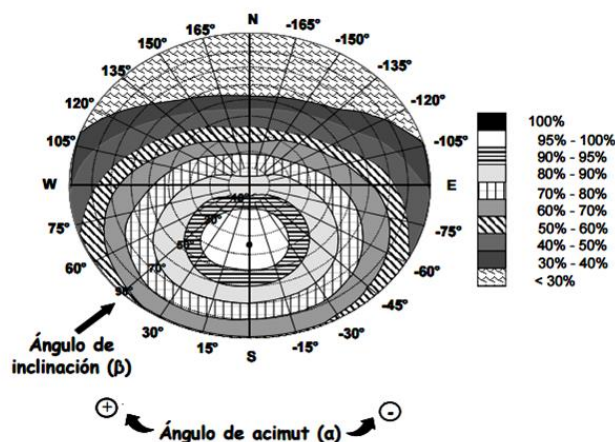


Figura 10. Gràfic pel determinar el percentatge de pèrdues per orientació i inclinació en funció de l'angle d'inclinació i l'angle azimut. Font: [3]

Aconseguint unes pèrdues dins el rang del 5-10%, es compleix la legislació de CTE de l'apartat de pèrdues provocades per la inclinació i orientació del cas general, que permetia un valor màxim d'un 10%.

Pèrdues per ombres

Per obtenir el màxim aprofitament d'un sistema d'energia solar s'haurà de tenir en compte les possibles zones d'ombres que es poden produir sobre els captadors al llarg del dia.

El primer criteri que s'establirà serà evitar qualsevol ombra per no reduir la radiació rebuda pels captadors solars, i en cas de produir-se, que aquesta ombra no superi mai el 20% de la superfície total i sobretot que no es produeixi-hi durant les hores centrals del dia (màxima radiació possible).

En el cas d'haver-hi una presència de vegetació pròxima als captadors, no només s'ha de tenir en compte l'ombra que poden generar en aquest moment sinó la que poden generar en un futur amb el seu creixement. Tanmateix de tractar-se de vegetació del tipus caduca s'haurà d'estudiar la possible caiguda de fulles sobre els captadors durant l'època hivernal.

Aquestes pèrdues per ombres també poden ser causa del propis captadors solars, que es fan ombra els uns sobre els altres. Per a determinar la distància mínima entre files de captadors s'utilitzarà la Equació 10.

$$d = k * h$$

Equació 10. Equació pel càlcul de la distància mínima entre captadors. Font: [3]

Essent:

- d: És la separació entre files de captadors.
- L: Longitud del captador LUM 2500 que és 2,19 [m].
- h: és la altura del captador. $h = L * \sin\beta$, on β és l'angle del captador respecte la horitzontal (inclinació del captador), $h=1,67$ [m]. Figura 11.
- k: és el coeficient el valor del qual s'obté de la Taula 10 en funció de la inclinació dels captadors.

Inclinació (°)	20	25	30	35	40	45	50	55
Coeficient k	1,532	1,638	1,732	1,813	1,879	1,932	1,970	1,992

Taula 10. Relació entre les diferents inclinacions dels captadors i els respectius coeficients. Font: [3]

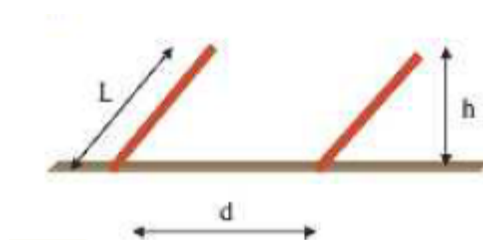


Figura 11. Esquema de presentació de les variables pel càlcul de la distància mínima entre captadors. Font: [3]

Amb la elecció final del captador LUM 2500, de l'empresa Lumelco, de longitud 2,19 [m], es calcula que la distància necessària de separació entre ells, en cas de que la instal·lació necessiti més de una unitat pel seu funcionament seria de 3,3 [m]. [12]

En conseqüència, per avançar en l'estudi s'utilitzarà un $\delta=1$, que correspon a unes pèrdues per ombres d'un 0%.

2.2.2 Predimensionament

Predimensionament de l'àrea de captació

L'àrea de captació requerida per la instal·lació està determinada per la demanda energètica que s'ha d'abastir amb energia solar, la radiació solar rebuda, que canvia en funció de l'emplaçament geogràfic de la instal·lació i el rendiment de la pròpia.

El predimensionament segueix la [Equació 11](#).

$$A_{captador\ solar} = \frac{Q_{solar}}{I \cdot r \cdot \alpha \cdot \delta}$$

Equació 11. Equació predimensionament de l'àrea de captació.

Essent:

- $A_{captador\ solar}$: Àrea útil dels captadors solars [m^2].
- Q_{solar} : L'aportació anual d'energia solar exigida és de 11195,995 [KWh/any].
- I : Valor de radiació solar òptima. El valor està aconseguit de fer la mitjana de tot l'any prenent la inclinació òptima del captador que seria de 39 °. El valor és de 1708,6 [KWh/any·m²].
- α : Coeficient de reducció per orientació i inclinació no òptima del captador. Aquest valor s'obté de la Figura 10, a on s'ha d'entrar per la desviació respecte el sud (44°) i la inclinació respecte la horitzontal (50°). Amb aquests valors el gràfic ens proporciona una $\alpha = 0,9$.
- δ : Coeficient de reducció per ombres. En aquest projecte no hi han ombres sobre els captadors, en conseqüència la $\delta = 1$.
- r : Rendiment mig anual de la instal·lació. Aquest depèn del rendiment dels captadors i de la resta dels components de la instal·lació. En termes generals es pot considerar adequat un valor mitjà de 0,30 a 0,50 per a una instal·lació amb captadors solars plans de baixa temperatura com la estudiada en aquest projecte. Alhora s'ha de tenir present que aquest valor és orientatiu, s'haurà d'ajustar en el dimensionat definitiu en funció del tipus, qualitat, etc.. Per al predimensionament s'utilitzarà un valor referència de 0,3.

Aplicant la fórmula anterior, s'aconsegueix determinar la superfície útil de captadors solars plans tèrmics de 24,27 [m^2].

Predimensionament del sistema d'acumulació

L'aigua escalfada per la instal·lació s'emmagatzemarà en un únic sistema per a tota la casa. Com s'ha enunciat anteriorment el volum d'acumulació varia en funció de l'àrea de captació segons la [Equació 12](#).

$$50 < \frac{V}{A} < 180$$

Equació 12. Equació predimensionament del sistema d'acumulació. Font: [3]

Seguint la equació anterior el volum del dipòsit hauria d'estar comprès entre 1213,5<V<4368,6 [L].

2.2.3 Càlcul i comprovació del predimensionament amb el mètode F-Chart

El mètode F-Chart, és un dels mètodes més estesos pel dimensionament bàsic d'instal·lacions solars tèrmiques. Aquest mètode permet calcular l'aportació d'energia d'un sistema solar, és a dir, la seva contribució al calor total necessari per a cobrir la demanda tèrmica, i el seu rendiment mitjà per a llargs períodes de temps. [10]

El mètode és regit per la [Equació 13](#):

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3$$

Equació 13. Equació pel càlcul de la fracció solar. Font: [7]

Essent:

- f : És la fracció solar.
- D_1 : És el quocient entre l'energia absorbida pels captadors i la demanda calorífica mensual. Depèn de la radiació mitjana del mes i del factor d'eficiència òptica dels captadors solars.
- D_2 : És el quocient entre l'energia que perden els captadors i la demanda calorífica mensual. Depèn del coeficient de pèrdues dels captadors, de la temperatura de ACS, de la temperatura d'aigua de la xarxa, de la temperatura mitjana mensual de l'ambient i del volum d'acumulació.

El factor òptic i el factor d'eficiència dels captadors s'obté a partir de la seva corba de rendiment, subministrada pel fabricant.

La seqüència de càlcul és la següent:

- Valoració de la demanda mensual d'aigua calenta.
- Valoració de la radiació solar incident a la superfície inclinada dels captadors.
- Càlcul del paràmetre D_1 .
- Càlcul del paràmetre D_2 .
- Determinació de la fracció solar f utilitzant la fórmula.
- Valoració de la cobertura solar mensual.
- Valoració de la cobertura solar anual i formació de taules.
- Comparació de la cobertura anual calculada amb la que es vol aconseguir. Si no coincideixen es suposa una altra superfície de captació i es repeteix el càlcul.

En els punts 1 i 2 on es determinen les càrregues calorífiques i de radiació solar incident, estableixen la quantitat de calor mensual necessària per escalfar l'aigua destinada al consum domèstic i la calor captada de forma òptima pels captadors. Aquests valors ja estan aconseguits en l'apartat 4, descripció de l'habitatge.

Càlcul del paràmetre D_1 mitjançant la [Equació 14](#):

$$D_1 = \frac{\text{Energia absorbida pel captador}}{\text{Demanda calorífica mensual}}$$

Equació 14. Equació pel càlcul del paràmetre D1 del mètode F-Chart. Font: [10]

On:

L'energia absorbida pel captador ve donada per la expressió de la [Equació 15](#).

$$E_a = S_c \cdot F'_r \cdot (\tau\alpha) \cdot R_I \cdot N$$

Equació 15. Equació pel càlcul de la energia absorbida del mètode F-Chart. Font: [10]

Essent:

- S_c : Superfície captador [m^2].
- R_I : Radiació diària mitjana mensual incident sobre la superfície de captació per unitat d'àrea [KJ/m^2].
- N : Nombre de dies del mes.
- $F'_r(\tau\alpha)$: Factor adimensional, que prové de l'expressió de la [Equació 16](#).

$$F'_r(\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n \cdot \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \cdot \left(\frac{F'_r}{F_r} \right)$$

Equació 16. Equació pel càlcul del factor d'eficiència òptica del mètode F-Chart. Font: [10]

Essent:

- $F_r(\tau\alpha)_n$: Factor d'eficiència òptica del captador, és a dir, ordenada en l'origen de la corba característica del captador.
- $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$: Modificador de l'angle d'incidència. En general es pot prendre com a constant: 0,96 (superfície transparent senzilla) o 0,94 (superfície transparent doble).
- F'_r/F_r : Factor de correcció del conjunt captador-bescanviador. Es recomana prendre el valor de 0,95.

Càlcul del paràmetres D_2 mitjançant la **Equació 17**:

$$D_2 = \frac{\text{Energia perduda pel captador}}{\text{Demanda calorífica mensual}}$$

Equació 17. Equació pel càlcul del paràmetre D2 del mètode F-Chart. Font: [10]

On:

L'energia perduda pel captador ve donada per la expressió de la **Equació 18**.

$$E_p = S_c \cdot F'_r \cdot U_L \cdot (100 - T_s) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2$$

Equació 18. Equació pel càlcul de la energia perduda del mètode F-Chart. Font: [10]

Essent:

- S_c : Superfície captador [m^2].
- T_s : Temperatura mitjana mensual de l'ambient [$^{\circ}C$].
- Δt : Període de temps considerat [s].
- K_1 : Factor de correcció per emmagatzemar que s'obté a partir de la Equació 19 i la Equació 20.

$$K_1 = \left[\frac{V}{75 \cdot S_c} \right]^{-0.25}$$

Equació 19. Equació pel càlcul del paràmetre K1 del mètode F-Chart. Font: [10]

$$37,5 < \left(\frac{V}{m^2_{captador}} \right) < 300$$

Equació 20. Inequació que delimita el rang acceptat per la relació $\frac{V}{m^2_{captador}}$. Font: [10]

- K_2 : Factor de correcció, per ACS, que relaciona la temperatura mínima d'ACS, la de l'aigua de xarxa i la mitjana mensual ambient, donat per la Equació 21.

$$K_2 = \frac{11,6 + 1,18 \cdot T_{ACS} + 3,86 \cdot T_r - 2,32 \cdot T_s}{100 - T_s}$$

Equació 21. Equació pel càlcul del paràmetre K1 del mètode F-Chart. Font: [10]

Essent:

- T_{ACS} : Temperatura mínima de l'ACS.

- T_r : Temperatura de l'aigua de la xarxa.
- T_s : Temperatura mitjana mensual de l'ambient.

Aquest factor de correcció K_2 , només es té en compte en el mètode F-Chart si la instal·lació solar només abasteix al sistema d'ACS o sigui quan no hi ha calefacció. Per tan en aquest projecte no es té en compte aquest valor.

$$F'_r U_L = F_r U_L \cdot \left(\frac{F'_r}{F_r} \right)$$

Equació 22. Equació pel càlcul del pendent de la corba característica del captadors del mètode F-Chart. Font: [10]

Essent:

- $F_r U_L$: Pendent de la corba característica del captador (coeficient global de pèrdues del captador).

Alguns dels coeficients anteriors depenen del model de captador escollit i els seus valors ens els proporcionen els fabricants. Per tant, primerament s'ha de fer una recerca de la disponibilitat que hi ha de captadors solars al mercat. A la [Taula 11](#) es poden veure diferents models de captadors de proveïdors diferents. [12], [13], [14], [15].

Captadors Solars					
	Model	Àrea d'absorció [m²]	Rendiment òptic [%]	Coeficient lineal de pèrdues tèrmiques [W/m²·K]	Preu [€]
VAILLANT	VFK 135 VD	2.352	0.801	2,645	699
BUDERUS	Logasol SKN 4.0	2.25	0.766	3.22	630
LUMELCO	LUM-2500	2.54	0.801	3.195	590
FAGOR	SOLARIA-2.4 AL S8	2.17	0.7296	2.51	717

Taula 11. Resum de les característiques principals dels captadors que es comparen en el projecte

Amb aquest diferents models s'han realitzat els càlculs del mètode F-Chart exposat anteriorment. Aquests es poden veure l'annex en les Taules 17, 19, 21, 23 (Annex), on es detallen els diferents valors que aconseguixen les variables del mètode F-Chart a cada mes.

Un cop seleccionat el captador més adequat es procedirà al càlcul del termes D_1 i D_2 , per finalment per mitjà de [Equació 13](#) obtenir la fracció de la càrrega calorífica mensual aportada pel sistema d'energia solar. Llavors, la energia útil generada pel sistema solar serà Q_u , i es calcularà fent ús de la [Equació 23](#).

$$Q_u = f \cdot Q_a$$

Equació 23. Equació pel càlcul de l'energia aportada pel sistema solar. Font: [7]

Essent:

- Q_a : Càrrega calorífica mensual de ACS i calefacció.
- f : Fracció solar.

Comparant els diferents captadors, si seleccionem el mateix nombre de captadors per a tots, ràpidament veiem bastant diferència pel que fa a l'energia obtinguda. Prenent 10 captadors de cada un, la diferència respecte la contribució solar oscil·la entre el millor i el pitjor un 6.5%, proporcionant el captador Lumelco una fracció solar del 32,8% i el captador Buderus una 26,3%, ambdós valors el mes de Gener. Òbviament el captador Buderus té menys àrea de captació, però igualment igualant àrees de captació, la contribució no arriba al 29%. És per això que per la seva mala relació rendiment-preu, es desestima l'elecció d'aquest captador.

Procedint de la mateixa manera, s'ha igualat l'àrea de captació del captador de Fagor, augmentant a 12 captadors la instal·lació, però tot i així tampoc arriba a aconseguir aportar una contribució solar del 32%, sinó del 31,25%, això sumat al seu elevat preu de 717€ la unitat, fa desestimar aquesta elecció.

Pel que fa a la selecció definitiva del captadors solar pla, la diferència entre la contribució solar que poden proporcionar els captadors de la marca Vaillant i el de Lumelco és de un 1%, però donat que per disponibilitat d'espai cap dels dos es sobrepassa i el preu el Vaillant és 109 € més car que el Lumelco, el captador que s'utilitzarà en la instal·lació solar tèrmica és el LUM-2500, de la marca Lumelco.

Finalment es realitzaran un seguit de comprovacions per assegurar el compliment de les normes de la instal·lació solar tèrmica per a l'obtenció de ACS:

- La contribució solar de la instal·lació serà major o igual a la contribució solar mínima exigida pel CTE.
- L'energia que produeix la instal·lació en cap mes serà superior al 110% de la demanda i en no més de tres mesos superior al 100%. No es contemplaran els mesos on la demanda energètica sigui d'un 50% per sota de la mitjana corresponent a la resta de any, prenent mesures de protecció.

El primer requisit el compleix ja que la contribució solar a la instal·lació d'ACS serà sempre del 100%, donat el disseny de la instal·lació, prioritza sempre l'obtenció d'ACS i tot l'excedent possible va com a

suport de la instal·lació de calefacció.

El segon requisit el complirà en tots el casos pel mateix que s'ha comentat al punt anterior. Però si es planteja a nivell global, o sigui com a conjunt la instal·lació d'ACS més la de calefacció, també ho compliria sempre que el nombre de captadors solars sigui inferior a 12, ja que sinó el mes de Maig superaria el 110% de la demanda.

Per a seleccionar el nombre de captadors que hi haurà a la instal·lació, el que s'ha volgut és fer complir la contribució solar mínima però enlloc de fer-la mes a mes, on seria necessari un gran nombre de captadors a causa de l'elevada demanda dels mesos més freds, fer-la complir a nivell anual. O sigui que la contribució solar mitjana anual sigui superior al 40% requerit pel CTE. En aquesta mitjana però, no s'hi inclouran els mesos de Juny, Juliol, Agost i Setembre ja que tenen una demanda energètica inferior al 50% de la mitjana anual i no complirien el segon requisit.

Seguint el criteri exposat en el paràgraf anterior, la instal·lació disposarà de 10 captadors solars plans.

2.2.4 Dimensionament

2.2.4.1 Sistema d'intercanvi

El sistema d'intercanvi és un dels elements importats del conjunt de la instal·lació. El dimensionament d'aquets dispositiu es realitzarà en funció de la potència tèrmica que els captadors solars siguin capaços de transmetre.

El funcionament del intercanviador es basa en la transmissió de calor del fluid portador del circuit primari al fluid de treball del circuit secundari, sense que es produeixi-hi contacte ni barreja entre aquests dos.

Hi ha dos tipus d'intercanviadors, els independents, que no es troben integrats al sistema d'acumulació i els que si es troben incorporats al sistema d'acumulació, que reben el nom d'interacumuladors.

En el cas de treballar amb un intercanviador independent, la potència mínima P , es determinarà per a les condicions de treball en les hores centrals del dia suposant una radiació solar de $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ i un rendiment de la conversió d'energia solar a calor de 50%, complint la condició de la [Equació 24](#).

$$P \geq 500 \cdot A$$

Equació 24. Equació pel dimensionament del sistema d'intercanvi. Font: [3]

Essent:

- P: Potència mínima del intercanviador [W].
- A: Àrea dels captadors 25,4 [m²].

Utilitzant aquest intercanviador hauria de tenir una potència mínima de 12,7 [KW].

En la instal·lació al final s'ha decidit utilitzar dos interacumulador, un per a ACS i l'altre per a calefacció que ja porten incorporat el serpentí d'intercanvi de calor al seu interior, per tan no fa falta dimensionar-lo apart.

2.2.4.2 Sistema d'acumulació

L'aigua escalfada per la instal·lació s'emmagatzemarà en dos dipòsits independents per a tot l'habitatge, un dipòsit pel sistema d'ACS i un pel sistema de calefacció.

Com que l'àrea de captació solar necessària per abastir la demanda d'ACS és de només 1,24 [m²], el dipòsit interacumulador serà d'entre $62 < V < 223,2$ [L], seguint la [Equació 12](#). L'escollit és el dipòsit mural d'acer vitrificat AVES002 que té una capacitat de 200 [L], de l'empresa Lumelco.

Llavors, la resta d'àrea de captació, els 24,16 [m²] són destinats a l'abastiment del sistema de calefacció per terra radiant i en conseqüència requereix d'un dipòsit acumulador en posició vertical d'entre $1208 < V < 4348,8$ [L]. L'escollit en aquest cas són dos dipòsits ASUV006, cada un de 1000 [L] de capacitat i també de l'empresa Lumelco.

S'ha de tenir en compte que les connexions d'entrada i sortida del circuit hidràulic venen especificades pel CTE i obliga a que la sortida d'aigua calenta es produeixi-hi per la part alta de l'interacumulador, preferentment a una alçada entre el 50-75% de l'alçada total del mateix. Alhora la entrada d'aigua freda de la xarxa es produirà per la part inferior del dipòsit.

2.2.4.3 Connexió dels captadors solars

La connexió entre captadors es pot realitzar de dues maneres diferents, en sèrie o en paral·lel, com s'exemplifica a la [Figura 12](#). La connexió en paral·lel és la més habitual i presenta algunes avantatges com l'acceptació de majors cabals amb un bon rendiment. D'altra banda presenta també inconvenients com l'augment de longitud de les canonades i una disminució de la temperatura, en comparació en la disposició en sèrie. Això és a causa de la configuració de les canonades de la connexió en paral·lel, on la entrada i la sortida de tots els captadors es connecten a un punt comú.

En canvi en la disposició en sèrie, la configuració de les canonades es caracteritza perquè la sortida del primer captador es connecta directament a l'entrada del següent, permeten així una temperatura major al final del circuit, ja que a mesura que es succeeixen els captadors la temperatura d'entrada del fluid és també major. Però aquesta disposició també presenta certs inconvenients, com són la pèrdua de rendiment dels captadors a mesura que es situen en posicions més avançades en el circuit, ja que aquesta major temperatura d'entrada l'hi provoca una pèrdua de rendiment. El fabricant del captador seleccionat estableix un màxim de 6 captadors en sèrie, per evitar aquests problemes de sobreescalfament.

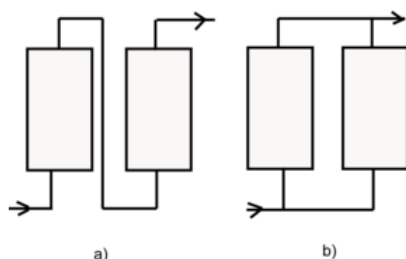


Figura 12. Esquema de les tipologies de connexions dels captadors solars. A) en sèrie i B) en paral·lel

En el cas d'aquest projecte al necessitar 10 captadors solars i tenint en compte la limitació del fabricant en quant al nombre màxim de captadors en sèrie. La disposició escollida és una combinació paral·lel-paral·lel, on es tenen dues fileres de 5 captadors solars en paral·lel entre ells i cada una d'aquestes fileres en paral·lel entre elles.

2.2.4.4 Sistema hidràulic

El sistema hidràulic d'una instal·lació solar està format pel conjunt de canonades, bombes de circulació, vasos d'expansió, vàlvules (de tall, de seguretat, de retenció, de regulació i termostàtiques) i aparells de mesura (cabalímetres, comptadors d'energia) i filtres. La [Figura 14](#) mostra un esquema del circuit primari. [11]

2.2.4.4.1 Fluid caloportador

El fluid caloportador es seleccionarà d'acord amb les especificacions del fabricant dels captadors. Poden utilitzar-se com a fluid en el circuit primari aigua de la xarxa, aigua desmineralitzada o aigua amb additius, segons les característiques climatològiques del lloc de la instal·lació. És habitual que el fluid portador sigui una mescla de anticongelant amb aigua destil·lada, que permet una bona protecció contra

les gelades i la corrosió.

El fluid de treball haurà de tenir un pH a 20 [°C] d'entre 5 i 9, i un contingut de sals que s'ajustarà als punts següents:

- La salinitat de l'aigua del circuit primari no excedirà els 500 [mg/L] de sals solubles.
- El contingut de sals de calci no sobrepassarà de 200 [mg/L], expressats com a contingut en carbonat de calci.
- El límit de diòxid de carboni lliure contingut a l'aigua no excedirà de 50 [mg/L]

En el cas de que el fluid sigui una mescla d'anticongelant i aigua, el percentatge del primer a la mescla dependrà de fins a quina temperatura es vulgui evitar que el fluid es geli. Segons el CTE aquesta temperatura ha de ser 5 [°C] inferior a la mínima local registrada. Prenent valors de la AEMET, [16], la temperatura mínima absoluta a Girona ha estat de -10.5 [°C] (1956), per tant la temperatura a considerar en aquest apartat són -15.5 [°C].

El percentatge d'anticongelant es podrà ajustar en funció de la temperatura de congelació (-15.5 [°C]) seguint la [Taula 12](#) proporcionada per la guia ASIT publicada pel *Ministerio de Industria, Energía y Turismo*. [17]

Temperatura de congelació [°C]	0	-3	-7	-15	-24
% anticongelant	0	10	20	30	40

Taula 12. Taula de relació de la temperatura mínima històrica de la zona on es troben instal·lats els captadors i el percentatge d'anticongelant que s'ha de posar a la instal·lació. Font: [3]

En conseqüència el fluid caloportador del circuit primari tindrà un percentatge aproximat d'anticongelant a base de glicol d'un 30% i la resta aigua de la xarxa.

L'anticongelant propilenglicol és el més utilitzat en aquest tipus de instal·lacions solar tèrmiques ja que per les seves característiques és el que millor s'adequa, gràcies a les seves propietats com a anticongelant, a la seva alta capacitat calorífica que l'hi permet absorbir i transportar grans quantitats de calor, al seu gran coeficient de transmissió de calor que permet un gran rendiment al intercanviador de calor, a la seva no toxicitat, perquè en cas de fuga no sigui perjudicial per a la salut de les persones, i el seu cost econòmicament accessible que permet fe aquestes instal·lacions solar més rentables.

En resum es necessita un 30% de propilenglicol als 83,2 [L] de fluid caloportadors, per tan es necessita un bidó de 25[L] d'anticongelant. [18]

2.2.4.4.2 Xarxa de canonades

El primer que s'ha de mirar per tal de seleccionar de quin material seran les canonades, es que siguin compatibles amb la resta d'elements que formen la instal·lació i amb el fluid. Donades les condicions a les que pot arribar el sistema, altes pressions i temperatures, el més aconsellable i habitual és fer-les d'un material metàl·lic en el circuit primari. El material que s'utilitzarà és el coure amb una capa de protecció exterior de pintura anticorrosiva, ja que és el material més habitual en instal·lacions solars.

Cal diferenciar les canonades del circuit primari de les del secundari, ja que les condicions de cada una d'elles són diferents. En el circuit primari hi circula un fluid caloportador amb una determinada proporció d'anticongelant i haurà de suportar temperatures elevades en el seu interior. D'altra banda pel circuit secundari hi circula aigua potable per alimentar els consums de ACS o circuits de calefacció. [19]

Dimensionament de canonades

El cabal del fluid caloportador es determinarà d'acord amb les especificacions del fabricant com a conseqüència del disseny del seu producte. En el cas de no disposar d'aquesta dada el cabal estarà comprès entre 1,2-2 [L/s] per a cada 100 [m²] de superfície de captadors.

En aquest cas el fabricant que ens proporciona els captadors solars, Lumelco, diu que el cabal de fluid caloportador ha de ser de 45 [L/h·m²]. Tenint en compte que la instal·lació té una àrea de captació 25,4 [m²], llavors el cabal que circularà pel circuit primari és de 1143 [L/h].

Pel càlcul del diàmetre de cada una de les canonades del circuit primari s'utilitza la [Equació 25](#) i per tan s'ha de conèixer:

- El material del que està feta la canonada per a saber les pèrdues de càrrega.
- El cabal que hi circula.
- Condicions de temperatura.
- Característiques del líquid caloportador.

$$v = 0,354 \cdot \frac{Q}{D^2}$$

Equació 25. Equació per determinar la velocitats del fluid dins una canonada.

Essent:

- V: Velocitat [m/s].
- Q: Cabal [L/h].
- D: Diàmetre interior [mm].

Per a establir el diàmetre mínim, s'ha de saber prèviament quina és la velocitat màxima que accepta la canonada sense que es produeixin fenòmens d'arrossegament i grans pèrdues de càrrega. Utilitzant l'expressió de Flamant i corregint-la multiplicant-la per un factor de 1,3 perquè el fluid és una mescla additivada, resulta la [Equació 26](#).

$$P_{unitària} = 1,3 \cdot 378 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

Equació 26. Equació per determinar les pèrdues d'una canonada.

Essent:

- $P_{unitària}$: Pèrdues de càrrega en mil·límetres de columna d'aigua per metre lineal. El valor màxim admissible normatiu és de 40 [mm.c.a/m].

Com que la fórmula de potència obliga a complir un valor màxim, es comença dimensionant a partir d'aquesta i llavors ja es comprovarà si la velocitat està dins el rang apte. Prenent unes pèrdues unitàries màximes de 40 [mm.c.a/m] i un cabal de 1143 [L/h], s'aconsegueix un diàmetre interior teòric de 22,7 [mm].

Seguidament es comprova quines possibilitat de mercat s'aproximen més a aquest valor i també es proporciona la [Taula 13](#) de valors aproximats obtinguda de la norma UNE EN 1057 "Cobre y aleaciones de cobre. Tubos redondos de cobre, sin soldaduras, para agua y gas en aplicaciones sanitarias y de calefacción", que relacionen diàmetres interiors, gruixos i cabals permesos de les diferents possibilitats comercials per a complir aquests 40 [mm.c.a/m] de pèrdues màximes. [20]

Cabal [L/h]	DN	Espessor part [mm]	Diàmetre interior [mm]
<500	18	1	16
<950	22	1	20
<1900	28	1	26

Taula 13. Taula amb valors orientatius del DN en funció del cabal que porten les canonades. Font: [11]

Com es pot observar el nostre càlcul és molt encertat i es pren finalment el DN de 28, de diàmetre interior 26 [mm] i espessor 1 [mm], perquè és el primer que accepta els 1143 [L/h] de cabal que

necessita la instal·lació del projecte. Finalment, es calcula la velocitat amb la qual circularà el fluid.

Aquest procediment s'ha de realitzar per a tots el tipus de canonada diferent, el tipus 1 (blau) correspon al tram que va des de la unió de tots els captadors fins a l'intercanviador i correspon a l'exemple anterior; el tipus 2 (verd) és la connexió des de que es bifurca del col·lector i fins que troba les cinc sortides, una per a cada captador de la bateria, també la canonada que recull el cabal dels cinc i els porta fins la unió de les dues bateries és del tipus 2. El tipus 3 (vermell) són les connexions de la canonada que té els cinc orificis i reparteix el cabal entre els captadors i el propi captador. Els color entre parèntesis fan referència a l'esquema de configuració que es mostra a la Figura 13.

A la Taula 14 es mostra el cabal, el DN, espessor, la velocitat i la pèrdua de carrega total de cada un dels tres trams diferents que s'han explicat. A aquesta Taula 14 també es mostren les longituds equivalents de les singularitats de cada un dels diferents trams del circuit primari, però no especifica quines singularitats hi ha. Si es vol saber d'on surten aquest valors a la Taula 25 (Annex), s'especifiquen quins elements, la quantitat i la longitud equivalent de cada un que permeten obtenir aquest valors.

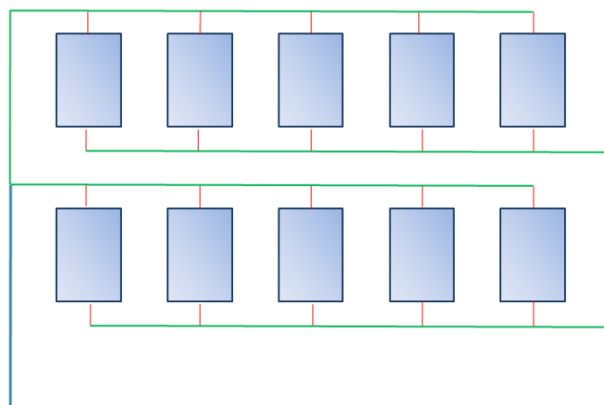


Figura 13. Esquema de la configuració dels captadors i els diferents trams. Tram tipus 1 (Blau), tram tipus 2 (Verd) i tram tipus 3 (Vermell)

Tipus de Trams del Circuit Hidràulic								
	Cabal [L/h]	DN [mm]	Diàmetre interior [mm]	V [m/s]	Long. Equivalent singularitats [m]	Long. Total [m]	Pèrdua càrrega unitària [mm.c.a/m]	Pèrdua càrrega total [mm.c.a]
1	1143	28	26	0,60	7,74	21,74	20,98	456,19
2	571,5	22	20	0,51	6,8	36,4	21,69	789,63
3	114,3	12	10	0,405	0	1,6	34,92	55,86

Taula 14. Taula resum de les característiques dels diferents trams del circuit hidràulic del sistema solar

2.2.4.4.3 Bomba circulació

Per tal d'assegurar el bon funcionament de la instal·lació i la correcta circulació del fluid caloportador per les canonades, s'instal·larà una bomba hidràulica, que anirà ubicada en la canonada de retorn després del vas d'expansió. El funcionament d'aquesta bomba es basa en compensar les pèrdues de càrrega que pateix el fluid a mesura que avança pel circuit a causa de la fricció que pateix.

Les pèrdues del circuit primari estan composades per les de les canonades i les dels captadors solars.

Dimensionament bomba de circulació

Pèrdues en canonades:

- Pèrdues de càrregues lineals: Són aquelles que es produeixen per fricció a mesura que avança el fluid a través d'un conducte recta, sense obstacles de derivació, ni corbes, etc.
- Pèrdues de càrrega singulars: El procediment de càlcul de les pèrdues singulars es basa en fer una equivalència de cada singularitat diferent a una longitud equivalent i així saber la pèrdua de càrrega en mil·límetres de columna d'aigua per metre lineal. La Taula 15 mostra el conjunt d'equivalències en funció del diàmetre nominal de la canonada.

Longituds equivalents		
Singularitat	Diàmetre nominal [mm]	
	22	28
Derivació en T (quan el cabal es divideix per igual)	1,8	1,92
Derivació en T (quan tendeix a seguir recta)	0,2	0,3
Colze de 90°	0,45	0,6

Taula 15. Longituds equivalències a diferents singularitats en funció del DN

A l'apartat 2.2.8.2, dimensionament de canonades, es mostra una taula amb les pèrdues totals de cada tram del circuit primari a la última columna. La suma de tots aquells valors dona 1,3 [m.c.a] són les pèrdues totals de la xarxa de canonades.

Pèrdues en captadors

Segons el fabricant el model LUM 2500, té una pèrdua de càrrega que segueix la [Equació 27](#) en funció del cabal.

$$\Delta P = 2,24 \cdot Q^2 + 3,72 \cdot Q$$

Equació 27. Equació pel càlcul de les pèrdues de càrrega en el captador LUM 2500. Font: [12]

Essent:

- ΔP : Pèrdua de càrrega [mbar].
- Q: Cabal; 1,905 [L/min].

Llavors, s'obtenen unes pèrdues per captador de 15,22 [mbar], que corresponen a 0,155 [m.c.a]. Per tant, el conjunt de captadors té unes pèrdues totals de 1,55 [m.c.a].

Pèrdues totals del circuit primari

Les pèrdues totals del circuit primari són la suma de les canonades, els captadors i dona el resultat de la Equació 28.

$$\Delta P = 1,11 + 1,55 = 2,85 \text{ [m. c. a]}$$

Equació 28. Suma de totes les pèrdues del circuit del sistema solar

És correcte precisar que els càlculs de les pèrdues són valors aproximats, ja que l'abast d'aquest projecte impedia entrar en més detall.

L'elecció de la bomba hidràulica que mourà el fluid pel circuit es determina segons el cabal i la pèrdua de càrrega que hi ha al circuit. Per tan ha de complir un cabal de 1143 [L/h] i 2,85 [m.c.a]. La bomba que compleix aquestes especificacions és la bomba simple hidràulica de 8-28 [L] de Lumelco.

2.2.4.4.4 Vas d'expansió

El vas d'expansió és l'element encarregat d'absorbir les variacions de volum i pressió que experimenta el fluid en el circuit primari a causa dels canvis de temperatura.

El vas d'expansió és un dipòsit estanc, normalment d'acer, que està dividit en dos volums de fluids diferents i que mai es barregen, ja que estan separats per una membrana elàstica permanent. En un d'aquest dipòsits hi ha el fluid caloportador i en l'altre un gas, en aquest projecte nitrogen. Aquest segon fluid actua com a amortidor de les fluctuacions del fluid caloportador de la instal·lació a causa dels canvis de temperatura del mateix.

El funcionament es basa en que quan el fluid caloportador augmenta de temperatura també augmenta

la pressió del circuit i aquest s'expandeix al vas, desplaçant el nitrogen i disminuint-li el volum que ocupa. Contràriament si la temperatura del fluid caloportador disminueix, també ho fa la pressió i aquest es contrau en el vas, provocant que el gas s'expandeixi-hi. Amb aquest element s'eviten els problemes de sobrepressions del sistema.

La ubicació recomanable del vas d'expansió dins el circuit és en la canonada de retorn, en el punt més baix del circuit, abans de la bomba de circulació per evitar les depressions que pot produir la bomba al arrancar-la.

Els paràmetres que defineixen el vas d'expansió són el volum nominal (volum total del vas) i el volum útil (volum màxim de fluid caloportador que el vas pot acceptar). El dimensionament d'aquest element ve regulat per la UNE EN 100155, "Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión" i diu que el dimensionat del vas ve regit per la [Equació 29](#). [21]

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_p$$

Equació 29. Equació pel càlcul del volum del vas d'expansió. Font: [18]

Essent:

- V_t : El volum total del vas d'expansió.
- V : El volum total del fluid caloportador en el circuit primari.
- C_e : Coeficient d'expansió del fluid caloportador.
- C_p : Coeficient de pressió del fluid caloportador.

Càlcul del volum total de fluid:

$$V_{fluid} = V_{canoandes} + V_{captadors} + V_{intercanviador}$$

Equació 30. Equació pel càlcul de la quantitat de fluid del circuit del sistema solar. Font: [18]

- Volum de fluid en el captador: La dada que proporciona el fabricant Lumelco i pel captador d'aquesta instal·lació és de 1,5 [L/captador].

$$V_{captadors} = 1,5 \left[\frac{L}{\text{captador}} \right] \cdot 10 [\text{captadors}] = 15 [L]$$

Equació 31. Quantitat de fluid que hi ha als captadors solars LUM 2500. Font: [12]

- Volum de fluid en l'intercanviador: La capacitat que té el serpentí de l'interacumulador és de 19,8 [L] per a cada un dels dipòsits de calefacció i 5,55 [L] pel dipòsit d'ACS.

$$V_{intercanviador} = 2 \cdot 19,8 + 5,5 = 45,1 [L]$$

Equació 32. Quantitat de fluid que hi ha als intercanviadors dels dipòsits d'ACS i de calefacció. Font: [12]

- Volum de fluid en les canonades: Per calcular el volum de fluid contingut a cada un dels trams de canonada s'ha d'utilitzar la Equació 33:

$$V_{canonades} = L \cdot \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot 1000 = 23,1 [L]$$

Equació 33. Equació pel càlcul del volum de fluid dins el circuit hidràulic del sistema solar

Llavors, el volum total de fluid serà la suma dels anteriors:

$$V_{fluid} = 15 + 45,1 + 23,1 = 83,2 [L]$$

Equació 34. Suma del volum de fluid de tots els trams del circuit hidràulic del sistema solar.

Càlcul del coeficient d'expansió

El coeficient d'expansió s'aconsegueix mitjançant la Equació 35:

$$C_e = (3,24 \cdot T^2 + 102,13 \cdot T - 2708,3) \cdot 10^{-6}$$

Equació 35. Equació pel càlcul del C_e del fluid caloportador del sistema solar. Font: [18]

Per aquest càlcul s'ha considerat una temperatura màxima de 90 [°C], ja que per la ubicació on es troba del circuit, a la sortida del intercanviador ens dona aquest valor. $C_e = 0,0327$

Però quan es tracta d'un fluid caloportador amb barreja amb anticongelant, s'ha de multiplicar el valor anterior C_e , per un factor corrector obtingut de la Equació 36:

$$f_c = a \cdot (1,8 \cdot T + 32)^b$$

Equació 36. Equació pel càlcul del factor corrector de la temperatura màxima i el percentatge d'anticongelant. Font: [18]

On:

$$a = -0,0134 \cdot (G^2 - 143,8 \cdot G + 1918,2)$$

$$b = 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot (G^2 - 94,57 \cdot G + 500)$$

Equació 37. Equacions per determinar paràmetres a i b. Font: [18]

Essent:

- G: El percentatge en volum de d'anticongelant a la dissolució, 30%.

S'aconsegueix, $a=20,044$, $b=-0,503$, $f_c=1,4165$; i finalment $C_e = 0,0463$.

Càlcul del coeficient de pressió

D'altra banda, el coeficient de pressió C_p és calcula a partir de la [Equació 38](#):

$$C_p = \frac{P_M}{P_M - P_m}$$

Equació 38. Equació pel càlcul del C_p . Font: [18]

Essent:

- P_M : pressió màxima del vas d'expansió, 4 [bar].
- P_m : pressió mínima del vas d'expansió, 1,5 [bar].

S'aconsegueix un C_p de 1,6 [bar].

Per tant, finalment el volum total del vas d'expansió és de 6,16 [L]. En conseqüència el model escollit serà el R8 008 241 de 8 [L] de l'empresa Potermic. [22]

2.2.4.4.5 Sistema de purga d'aire

Els purgadors són els dispositius que s'instal·len en els circuits per permetre l'evacuació de l'aire que s'hi hagi pogut introduir. Aquest aire al presentar-se en forma de bossa pot reduir les característiques termoconductores del fluid caloportador i depèn on es col·loqui obstaculitzar el pas del fluid fins inclús a anular el cabal de circulació.

L'aire de l'interior dels circuit pot provenir: de l'existent abans de l'ompliment amb el fluid, del que pot entrar per qualsevol dispositiu que es trobi amb depressió respecte la pressió atmosfèrica o del que ve dissolt a l'aigua o al fluid.

Aquests dispositius poden ser de dos tipus diferents, en funció del seu accionament:

- D'accionament manual: en els que s'acumula aire però no surt fins que una vàlvula s'afluixa.
- D'accionament automàtic: deixen sortir l'aire quan s'hi acumula una certa quantitat.

L'apartat del document DB HE 4, del CTE, on es fa referència als purgadors, estableix que és en els punts alts de la sortida de bateries dels captadors i aquells punts de la instal·lació on es pugui quedar aire

acumulat el lloc on s'han de col·locar purgadors. També precisa que malgrat la instal·lació disposi de purgadors automàtics, és sempre recomanable la instal·lació d'un purgador manual en els circuits on es pugui produir vapor. En aquesta instal·lació concretament es col·locarà un purgador al final de cada una de les bateries de cinc captadors solars.

2.2.4.5 Sistema de ompliment i buidat

Els sistemes tancats han d'incorporar un sistema d'ompliment que permeti omplir el circuit i mantenir-lo pressuritzat en el cas que hi hagi pèrdues. Donat que part del circuit primari es troba a l'exterior, com ja s'ha dit el fluid caloportador és una barreja d'aigua amb propilenglicol.

El procés d'incorporació del fluid al circuit es pot realitzar de manera manual o automàtica, però sempre es recomana fer l'ompliment des de la part inferior del circuit ja que així s'eviten xocs tèrmics i la formació de bosses d'aire. En el cas d'aquesta instal·lació es col·locarà una vàlvula d'esfera per omplir el circuit abans del vas d'expansió.

Pel procés de buidat no es pot utilitzar la mateixa vàlvula ja que com que hi ha una vàlvula antiretorn després de la bomba, tota la canonada de retorn als captadors sempre quedaria plena de fluid. Per això la vàlvula de buidat s'instal·la després de la bomba de circulació.

2.2.4.5.1 Vàlvules

Les vàlvules són el mecanisme utilitzat amb l'objectiu d'impedir o controlar el pas del fluid per la canonada. L'apartat 3.4.6, del document DB HE 4, del CTE, estableix que l'elecció de vàlvules es realitzarà, d'acord amb la funció que han de complir i les condicions de treball extremes de funcionament (pressió i temperatura), seguint els criteris que s'especifiquen a continuació:

- Per aïllament: vàlvula esfera.
- Per equilibrat de circuits: vàlvula d'assentament.
- Per buidat: vàlvula d'esfera o mascle.
- Per ompliment: vàlvula d'esfera.
- Per purga d'aire: vàlvula d'esfera o mascle.
- Per seguretat: vàlvula de ressort.
- Per retenció: vàlvula de disc de doble comporta o de clapeta.

Descripció de les característiques dels diferents tipus de vàlvules:

- Vàlvula d'esfera: Consisteix en una esfera amb un orifici cilíndric que la travessa. Quan aquest orifici està orientat paral·lelament al eix de conducció, el fluid pot circular. Però quan la seva orientació és perpendicular al eix l'hi impedeix el pas. L'esfera es situa entre dos casquets elàstics, aconseguint un tancament hermètic tan per líquids com gasos, i resistint elevades temperatures i pressions.
- Vàlvula d'assentament: És la més habitual en instal·lacions de petit cabal i el tancament es realitza mitjançant un pistó.
- Vàlvula comporta: L'element de tancament és una comporta en forma de cunya que al descendir s'ajusta entre dos plans inclinats, impedit el pas del líquid. El tancament es produeix perpendicular a la canonada sense obligar al fluid a canviar de direcció, per això no hi ha tantes pèrdues de càrrega.
- Vàlvula de clapeta: És la més utilitzada com a vàlvula de retenció i està constituïda per una clapeta o comporta articulada que deixa passar el fluid en un sentit, marcat amb una fletxa, mentre que si s'inverteix el sentit de circulació la pròpia pressió del fluid empeny la clapeta contra el seient impedit el retrocés del fluid.

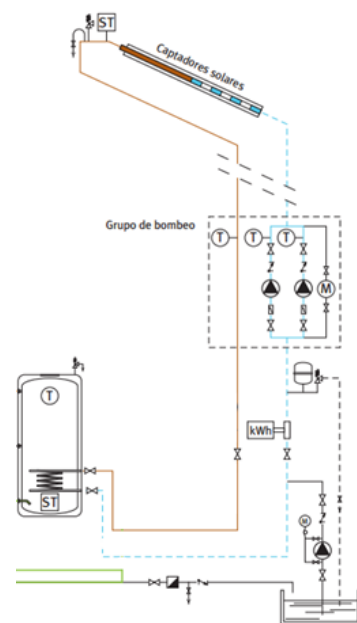


Figura 14. Esquema del circuit del sistema solar

2.2.4.6 Sistema de regulació i control

El sistema de regulació i control es defineix com un dels que conformen la instal·lació solar tèrmica. En el document DB HE 4, en l'apartat de control, estableix un seguit de punts per assegurar el bon funcionament de l'equip.

El sistema de control assegurarà un correcte funcionament de les instal·lacions, procurant obtenir un bon aprofitament de la energia solar captada i assegurant l'ús adequat de l'energia auxiliar. El sistema comprendrà el control de funcionament dels diferents circuits i els sistemes de protecció i seguretat contra sobreescalfaments, gelades...

Per a explicar els sistemes de regulació s'han assignat unes variables a les següents entrades, sortides i els diferents elements:

- T1: Temperatura a la sortida de les dues bateries de captadors.
- T2: Temperatura de l'interacumulador d'ACS.
- T3: Temperatura de l'interacumulador de calefacció.
- V1: Vàlvula de tres vies motoritzada que regula l'alternança d'ompliment del dipòsit d'ACS i de calefacció.
- V2: Vàlvula de tres vies motoritzada que regula l'accionament del dissipador.
- B1: Bomba del circuit primari.

Per últim, el sistema de control es realitzarà de manera centralitzada amb la centraleta SC 500 de Lumelco i les temperatures consignes dels dipòsit d'interacumulació d'ACS i de calefacció són 60 [°C] i 40 [°C] respectivament.

Control del funcionament de l'alternança d'ompliment dels dipòsits d'interacumulació

En primer lloc es compara la T1 amb la T2 (ja que el sistema dóna sempre prioritat al dipòsit d'ACS). Si la diferència és superior a 7 [°C], i es compleix que la T2<60 [°C] i que el dipòsit d'ACS no està ple, s'activa la B1 i la V1 per permetre l'entrada del fluid caloportador a aquest dipòsit interacumuladors d'ACS.

També es pot donar la situació que T1-T2>7 [°C] però que T2=60 [°C]. En aquest moment el sistema passa a donar prioritat al sistema de calefacció i compara la T1 i la T3. Si la seva diferència és superior a 7 [°C] i es compleix que la T3<40 [°C] i que el dipòsit de calefacció no està ple, llavors, s'activa la B1 i la V1 per permetre l'entrada del fluid caloportador a aquest dipòsit interacumulador de calefacció.

Regulació de la bomba

El sistema pel control del funcionament normal de la bomba, haurà de ser de tipus diferencial, una mesura serà sempre la T1 i l'altra alternarà la T2 o la T3. El sistema estarà tarat perquè la bomba s'engegui si la diferència entre aquestes temperatures és major a 7 [°C]. Amb aquest gradient el que es vol aconseguir és evitar les oscil·lacions d'arrancada-aturada de la bomba que es puguin produir al principi i al final del dia, quan aquestes dues temperatures siguin bastant semblants.

D'altra banda en canvi per controlar l'aturada de la bomba la condició ha de ser que la diferència entre T1 i la T2 o T3 ha de ser inferior a 2 [°C] o menys. La bomba s'ha d'aturar perquè amb les pèrdues de temperatura que es produeixen durant el circuit, quan el fluid arriba al dipòsit la temperatura ja no és major a la que tenia abans de recircular. També s'haurà d'aturar B1 si $T2 > 60$ [°C] i $T3 > 40$ [°C] i la diferència entre T1 i T2 o T3 continuï essent superior a 7 [°C], perquè s'estaria escalfant l'aigua a més temperatura de la desitjada.

Protecció contra sobreescalfaments

En aquest tipus d'instal·lacions el problema del sobreescalfament és habitual, ja que normalment quan l'aprofitament de l'energia solar és màxim durant el període estival, la demanda d'ACS és mínima, podent provocar que una part de l'energia generada pels captadors no pugui ser absorbida per l'acumulador i sigui el fluid caloportador qui presenti canvis de temperatura i pressió, no convenients pel bon funcionament de la instal·lació.

El CTE ja contempla aquestes possibles situacions extremes per això condiciona el dimensionament de la instal·lació a unes especificacions. Aquest dimensionament estarà limitat a la condició de que en cap mes de l'any l'energia produïda per la instal·lació pugui superar el 110% de la demanda energètica i en no més de tres mesos el 100%. Aquests efectes no es consideraran durant aquells períodes de temps en els que la demanda energètica sigui el 50% inferior a la mitja corresponent a la resta de l'any, prenent mesures de seguretat en el cas que succeeix-hi.

En el cas de produir-se alguna condició anterior, el CTE estableix que s'han de prendre alguna de les següents mesures de seguretat:

- Dotar a la instal·lació de la possibilitat de poder dissipar els excedents, per mitjà d'equips específics o mitjançant la circulació nocturna del circuit primari.

- Recobriment parcial dels captadors amb el que s'aconsegueix la no incidència dels raigs solars i que el fluid caloportador continuï circulant.
- Buidat parcial del fluid caloportador del circuit primari. Aquesta solució presenta problemes ja que quan es restableixen les condicions normals d'ús, el circuit primari requereix d'un reompliment.
- Desviament dels excedents energètics cap a altres aplicacions.

En tots els casos es recomana la instal·lació d'un equip de suport com una vàlvula de seguretat, que en situacions extremes permeti el buidat parcial del fluid del circuit primari evitant així la sobrepressió del sistema. Però en els casos d'habitatges o instal·lacions que no tinguin un manteniment diari, com és el d'aquest projecte, la solució del equip de suport si no es pot desvia l'excedent energètic cap a altres aplicacions és la més adequada.

En la situació d'haver d'instal·lar un dissipador tèrmic és seleccionaria un d'aigua-aire de convecció forçada, que aniria ubicat just després de la bateria de captadors. El funcionament es basaria que si $T_1 > 90$ [°C] (temperatura màxima del nostre sistema), s'activaria B1 i V2 i es faria circular tot el fluid caloportador pel dissipador. Un cop a la sortida del dissipador enlloc de dirigir el fluid cap al intercanviador s'enviaria directament a la bomba de circulació per fer-lo recircular pel circuit primari fins que les sondes marquessin que les temperatures estan dins els rangs permesos de funcionament.

Protecció contra gelades

Al realitzar la instal·lació s'ha de tenir en compte que tots els elements que estaran exposats al exterior han de ser capaços de suportar la temperatura mínima de la zona sense veure's afectat de manera permanent.

El fluid caloportador ja està pensat per a poder suportar la temperatura mínima històrica de la zona, però per tal de que no es produeixin danys, sempre que la T_1 es trobi lleugerament per sobre de la de congelació, 3 [°C], s'activarà B1 durant uns minuts perquè es produeixi el moviment del fluid i així no es malmeti la instal·lació.

2.2.4.7 Sistema auxiliar

La instal·lació projectada es realitzarà en un habitatge ja construït i dotat d'un sistema d'energia convencional, gas natural, capaç de proporcionar tota la energia necessària per a satisfer la demanda d'ACS i calefacció.

3 Instal·lació d'ACS

3.1 Introducció

En aquest apartat d'instal·lació d'ACS s'explica tot al referent a aquest circuit secundari, els diferents element que el componen i el seu dimensionament. Com que aquest projecte es basa en la reforma d'un habitatge ja construït i habitat, ja hi ha feta una instal·lació d'ACS, per tan només es realitzarà un estudi de la integració d'aquesta nova instal·lació solar tèrmica al circuit actual.

3.2 Acoblament d'instal·lacions

Per tal de satisfer la demanda d'ACS amb seguretat en qualsevol situació s'ha d'acoblar la instal·lació solar tèrmica a un sistema auxiliar que pugui abastir la demanda en el cas que no ho pugui fer la primera.

La connexió entre la instal·lació solar, o sigui el dipòsit interacumulador d'ACS i el sistema auxiliar serà en sèrie, de manera que la instal·lació solar aportarà una aigua preescalfada a la caldera de gas natural del circuit actual. La selecció d'aquesta tipologia de connexió és deu a la seva simplicitat d'integració i la seva fiabilitat per a garantir el servei.

El funcionament del sistema és basa en que s'introdueix aigua de la xarxa al dipòsit d'inetracumulació des de la zona inferior i es tregui per la part superior, per mitjà d'una canonada que la portarà a la caldera del sistema auxiliar.

Es poden donar dues possibilitats, primer, que la temperatura a la sortida de dipòsit ja hagi aconseguit els 60 [°C] i en conseqüència quan passi per la caldera aquesta no s'hagi d'engegar. O la segona, que en la sortida del dipòsit l'aigua no hagi aconseguit aquesta temperatura requerida i per tan quan passi per la caldera, aquesta s'hagi d'engegar per escalfar-la més. En qualsevol cas l'aigua sempre passarà per la caldera, per assegurar el bon funcionament del sistema.

Finalment, només falta per especificar que a part de l'entrada d'aigua del dipòsit hi ha entrades d'aigua de xarxa a tots els punts de consum d'ACS. Gràcies a una vàlvula mescladora termostàtica es pot regular la temperatura i el cabal de la sortida de l'aigua. [23]

3.3 Sistema hidràulic

El sistema hidràulic d'una instal·lació d'ACS està format pel conjunt de canonades, bombes de circulació, vasos d'expansió, vàlvules (de tall, de seguretat, de retenció, de regulació i termostàtiques) i aparells de mesura (cabalímetres, comptadors d'energia), filtres...

Com s'ha explicat el circuit ja existeix, per això, seguidament, només es dimensionaran els elements nous que permeten l'acoblament entre la instal·lació solar i la caldera auxiliar, i el sistema que regulen l'accionament dels diferents elements i que permeten un consum d'aigua en bon estat.

Xarxa de canonades

La canonada que s'ha de dimensionar és la connexió que va de la sortida del dipòsit d'ACS fins l'entrada de la caldera auxiliar. En aquest cas el fabricant del dipòsit interacumulador AVES002, Lumelco, proporciona el diàmetre de l'obertura on es fa aquesta connexió i és de 3/4" que equival a 19,05 [mm].

Per tan, la canonada serà de DN 22 i espessor de 1 si compleix la condició de velocitat que estableix el CTE en el seu "Documento Básico de Salubridad", secció HS 4, a l'apartat 4.2.1 que tracta sobre el dimensionament dels trams, on exposa que en canonades metàl·liques la velocitat de càlcul ha d'estar compresa entre 0,5-2 [m/s]. Aquesta velocitat, òbviament anirà imposada per la demanda de cabal instantània. [30]

Altres elements

Tots els altres elements del circuit hidràulic ja existeixen i s'utilitzaran els mateixos, per això no es dimensionen.

3.4 Sistema de regulació i control

Protecció contra cremades

Els sistemes d'ACS on la temperatura d'aigua calenta als punts de consum pugui excedir els 60 [°C] s'ha d'instal·lar un sistema automàtic de mescla o qualsevol altre que limiti la temperatura de subministrament a aquest 60 [°C], encara que a la part solar pugui aconseguir temperatures superiors. Aquest sistema haurà de ser capaç de suportar la màxima temperatura possible d'extracció del sistema solar, 90 [°C].

Legionel·la

La instal·lació de subministrament d'aigua ha de tenir unes característiques adequades per evitar el desenvolupament de gèrmens patògens i no afavorir el desenvolupament de la biocapa (biofilm). Entre les normes que regulen la qualitat de l'aigua, destaquen especialment la RD 140/2003 que estableix els criteris sanitaris de qualitat de l'aigua de consum humà i la RD 865/2003 que estableix els criteris higiènics-sanitaris per la prevenció i control de la legionel·la.

La legionel·la és una bactèria que pot aparèixer en aigües estancades preferiblement en temperatures superiors als 35 [°C]. Per tal d'evitar que es produeixi-hi en els dipòsit d'ACS que és l'aigua destinada al consum humà, s'ha d'aconseguir que l'aigua arribi a una temperatura per sobre dels 60 [°C] i en ocasions als 70 [°C] i així assegurar la desinfecció.

4 Instal·lació de calefacció

4.1 Introducció

En la instal·lació de calefacció, succeeix el mateix que en la d'ACS, o sigui que actualment ja existeix un sistema de radiadors a l'habitatge, però donada la incorporació de la instal·lació solar s'ha cregut convenient modificar el sistema per un de baixa temperatura, ja que així serà més fàcil abastir-la amb aquesta energia solar.

Seguidament, s'exposa tot el que fa referència a aquest circuit secundari, com s'acobra amb el circuit solar, els diferents elements que en formen part, el seu dimensionament, sistemes de regulació, etc.

4.2 Acoblament d'instal·lacions

Per tal de satisfer la demanda d'ACS amb seguretat en qualsevol situació s'ha d'acoblar la instal·lació solar tèrmica a un sistema auxiliar que pugui abastir la demanda en el cas que no ho pugui fer la primera.

La connexió entre la instal·lació solar, o sigui els dipòsits interacumuladors de calefacció i el sistema auxiliar serà en sèrie, de manera que la instal·lació solar aportarà aigua preescalfada a la caldera de gas natural del circuit actual. La selecció d'aquesta tipologia de connexió és deu a la seva simplicitat d'integració i la seva fiabilitat per a garantir sempre el servei.

El funcionament del sistema és basa en que s'introdueix aigua de la xarxa als dipòsits d'interacumulació des de la zona inferior i es treu per la part superior, llavors, per mitjà d'una canonada es portarà a la caldera del sistema auxiliar.

Es poden donar dues possibilitats, primera, que la temperatura a la sortida de dipòsit ja hagi aconseguit els 40 [°C] de la temperatura consigna i en conseqüència quan passi per la caldera aquesta no s'haurà d'engegar. O la segona, que en la sortida del dipòsit l'aigua no hagi aconseguit aquesta temperatura requerida i per tan quan passi per la caldera aquesta s'hagi d'engegar per escalfar-la més. En qualsevol cas l'aigua sempre passarà per la caldera, per assegurar el bon funcionament del sistema.

Finalment de la sortida de la caldera va als dos equips col·lectors, un a l'habitatge superior i l'altre al inferior des d'on es reparteix l'aigua cap als diferents circuits de calefacció. [23]

4.3 Sistema hidràulic de l'acoblament

El sistema hidràulic de l'acoblament entre la instal·lació solar i la instal·lació de calefacció està format pel conjunt de canonades, bombes de circulació, vasos d'expansió, vàlvules (de tall, de seguretat, de retenció, de regulació i termostàtiques) i aparells de mesura (cabalímetres, comptadors d'energia), filtres... Igual que passava en la instal·lació d'ACS la majoria d'aquest element ja hi són, per tan es farà ús d'ells, ja que al no canviar les necessitats el seu dimensionament ja és el correcte.

Xarxa de canonades

En aquest cas l'element que s'ha d'incorporar és la canonada que connecta les sortides dels dipòsits d'interacumulació de calefacció amb els equips col·lectors passant per la caldera auxiliar. En aquest cas el fabricant del dipòsit interacumulador ASUV006, Lumelco, proporciona el diàmetre de l'obertura on es fa aquesta connexió i és de 3/4".

Per tan, la canonada serà de DN 22 i espessor de 1,5 si compleix la condició de velocitat que estableix el CTE en el seu "Documento Básico de Salubridad", secció HS 4, a l'apartat 4.2.1 que tracta sobre el dimensionament dels trams, on exposa que en canonades metàl·liques la velocitat de càlcul ha d'estar compresa entre 0,5-2 [m/s]. Aquesta velocitat, òbviament anirà imposada per la demanda de cabal instantani. [30]

Altres elements

Tots els altres elements del circuit hidràulic ja existeixen i se'n farà ús dels mateixos, per això no es dimensionen.

4.4 Selecció sistema de calefacció

El confort es pot definir com l'absència de tot allò que pot ser una molèstia o pot generar un malestar amb la idea d'aconseguir un benestar físic. Aquest apartat es centra en la idea d'aconseguir el confort tèrmic, o sigui l'absència de malestar tèrmic. [24], [26]

La sensació de temperatura de les persones no es correspon amb la temperatura ambient, sinó que equival a la temperatura de confort, anomenada també temperatura operativa. Aquesta temperatura de confort, es podria dir que és el valor promig entre la temperatura ambient de l'aire i la temperatura radiant mitjana de les superfícies interiors de l'habitatge. D'aquesta manera si es vol mantenir la temperatura de confort es podria modificar qualsevol de les dues que la componen, per tant és podria

deixar constant la temperatura ambient i augmentar la temperatura radiant mitjana de l'habitació.

Si el que es vol aconseguir és el benestar de les persones, el primer que s'ha de fer és conèixer com és el cos humà per tal d'escollir el sistema de calefacció que més s'adeqüi a les seves necessitats. Per això a la [Figura 15](#) s'ha comparat el perfil òptim de temperatures de cos humà amb els perfils de temperatura que s'aconsegueixen amb els sistemes més habituals de calefacció.

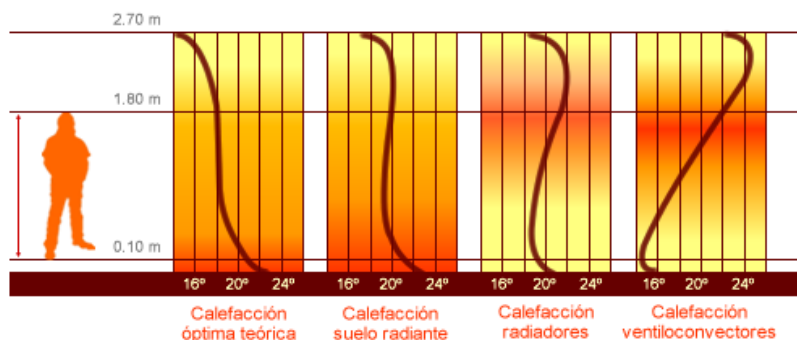


Figura 15. Gràfic de la corba de temperatura de diferents sistemes de calefacció i l'ideal pel cos humà. Font: [22]

La corba de més a l'esquerra mostra el perfil ideal de temperatura, on la temperatura al terra és lleugerament superior que a l'alçada del cap, proporcionant així una major sensació de confort. Comparant aquest perfil amb els de les diferents propostes d'instal·lacions de calefacció, ràpidament s'observa una gran similitud amb la del terra radiant. El sistema de terra radiant gairebé aconsegueix copiar el perfil ideal i en conseqüència el fa el sistema idoni per a proporcionar les condicions de confort desitjades per les persones.

4.5 Terra radiant

El sistema de calefacció per terra radiant consisteix en una xarxa de canonades que es situen al interior del terra de l'habitatge, i per on hi circula aigua calenta provocant un augment de la temperatura del terra i alhora de l'habitatge.

Tanmateix el terra radiant també presenta altres avantatges apart de proporcionar el millor perfil de temperatures per a les persones, com poden ser les següents.

La calefacció per terra radiant és més saludable al no ressecar tant l'ambient ja que gairebé no hi ha moviment d'aire. El moviment es genera pel gradient tèrmic que existeix entre el sistema emissor i la temperatura operativa, i com que aquesta calefacció és de baixa temperatura, pròximes als 40 [°C], el

gradient és petit i el moviment d'aire conseqüent gairebé inexistent.

Un altre característica destacable d'aquest sistema de calefacció és la uniformitat en l'emissió de calor, ja que la superfície d'emissió cobreix tota l'àrea a escalfar i per tant la sensació de confort que s'aconsegueix és major.

Apart d'aquestes característiques que s'han anomenat, potser la més rellevant o almenys una de les que va promocionar més aquest sistema és l'estalvi energètic. Com s'ha explicat la calefacció per terra radiant és un sistema de baixa temperatura, això vol dir que la temperatura de treball no és tant elevada com els sistemes de calefacció tradicionals, 70-80 [°C]. Òbviament, al no haver d'aconseguir aquestes temperatures més elevades el consum energètic és menor i provoca aquest estalvi energètic.

Altres aspectes destacables del sistema de calefacció per terra radiant és la seva compatibilitat amb qualsevol tipus d'energia, gràcies a la seva temperatura d'impulsió moderada. També la seva adaptabilitat d'instal·lació, ja que es pot instal·lar amb qualsevol tipus de paviment, fusta, ceràmic, tèxtil... I finalment la seva invisibilitat, ja que els seus aparells emissors i la seves conduccions no són visibles a l'interior de l'habitatge.

Relacionat també amb l'estalvi energètic, una característica important és la inèrcia tèrmica de l'habitatge. Aquesta és la capacitat que té la massa de conservar l'energia tèrmica rebuda i anar-la alliberant progressivament, disminuint així la demanda de calefacció per aconseguir les condicions de confort. L'habitatge que té més inèrcia tèrmica aconsegueix major estabilitat tèrmica, o sigui un amortiment en la variació de les temperatures. La forma d'aconseguir aquesta inèrcia tèrmica és aprofitant els elements constructius de l'habitatge (terres, sostres, parets...) com elements acumuladors d'energia, així com més energia puguin acumular aquests elements, menys influiran les condicions climàtiques externes i major estabilitat s'aconseguirà. Per aconseguir aquesta inèrcia tèrmica s'hauria de constituir aquest terra radiant de diferents capes, aïllant, morter... per aconseguir un terra radiant de gruix considerable.

Els terres radiants tradicionals estan formats per el forjat propi de l'habitatge, un film antihumitat, un panell aïllant, banda perimetral, el conjunt de canonades, morter, ciment cola i el paviment, com es pot observar a la [Figura 16](#). Al disposar de tantes capes la seva capacitat d'acumular energia és molt gran i per tan té una gran inèrcia tèrmica.

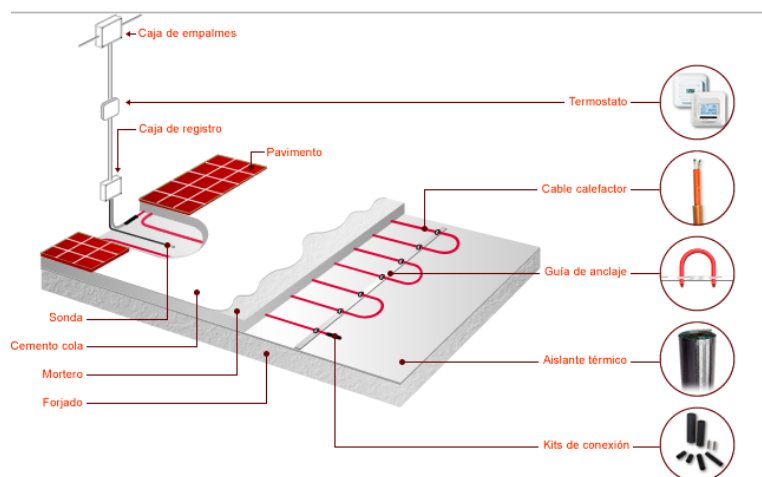


Figura 16. Composició del terra radiant. Font: [23]

Però els sistemes de climatització per terra radiant es poden classificar en funció de diferents criteris, components que el conformen, tipologia de obra o segons la metodologia d'instal·lació.

El més habitual és classificar-los en funció de la tipologia de la obra, que es diferencia pels elements constructius que formen els sòls, resultant una segregació entre obra nova o reforma. La obra nova inclou tot els elements, ja que és habitual la seva implementació en edificis bastant nous i per tan la llei ja els obligava a suportar els esforços extrems que implicaria la instal·lació de terra radiant tradicional. Però en canvi al referir-se a reforma, el que vol dir és que no incorpora tots els elements com seria l'habitual, ja que en els edificis on s'implanta no és segur que puguin suportar els esforços del tradicional, per tan els redueixen per evitar el col·lapse i el trencament del sòl, per excés de pes. [25]

Terra radiant de baix perfil

Com que la idea del treball és basa en una reforma de l'habitatge sense modificar-ne l'estructura bàsica, això provoca que els sòls de l'habitatge ja estiguin construïts. Davant el desconeixement de la càrrega que pot suportar l'habitatge, l'elecció de la tipologia de la obra del sistema de terra radiant escollida és la reforma.

Dintre l'apartat de reforma hi ha una segona segregació entre perfil mitjà o baix en funció de fins a quin punt poden suportar càrrega els sòls. En aquest cas l'elecció és el perfil baix que és el que menys sobrecàrrega accepta en el sòl, així es garanteix la seguretat de l'habitatge s'hi es col·loca el terra radiant en un paviment antic.

4.5.1 Dimensionament terra radiant

4.5.1.1 Equip de distribució

L'equip de distribució és l'encarregat de recollir l'aigua calenta que prové de la caldera i dirigir-la cap als circuits independents de terra radiant, i alhora, recollir l'aigua de la canonada de retorn i portar-la cap a la font d'energia. Aquests equips de distribució és habitual trobar-los en passadissos o distribuïdors, ja que són zones centríques respecte als diferents recintes als que ha de donar servei. Aquests equips de distribució també són coneguts amb el nom de col·lectors i en el cas d'aquest projecte s'ubicaran un equip a cada pis i més concretament al distribuïdor en l'habitatge inferior i al passadís al superior, com es pot observar a la Figura 7 (Annex) i Figura 8 (Annex), corresponents als plànols esquemàtics de les plantes de l'habitatge superior i inferior.

No és necessari instal·lar un equip col·lector a cada pis, però com que la seva funció és poder tancar manualment un circuit de terra radiant en cas de no utilitzar aquella zona de l'habitatge, és més accessible tenir-ne un a cada pis.

Finalment, la distribució de circuits que s'ha planificat pels habitatges ha estat de quatre unitats a ambdós pisos. Exactament hi haurà un circuit només pel menjador, un pel dormitori petit, un pel dormitori gran i un darrer pel conjunt cuina-lavabos. Per tal de materialitzar-se s'han d'instal·lar 2 equips Vario Plus col·lector de 2 sortides, de l'empresa Uponor, a cada un dels habitatges. Cada un d'aquest equips inclou 2 purgadors, 2 termòmetres, 2 claus de pas i 1 kit de suport. [27]

4.5.1.2 Canonades amb barrera antidifusió d'oxigen

La canonada és l'element per el que circula l'aigua calenta. El més habitual és que s'utilitzin canonades de polietilè reticulat PEX, gràcies al seu ventall de característiques òptimes, com són la seva gran resistència a la temperatura, la seva flexibilitat que en facilita la instal·lació i una gran conductivitat tèrmica.

Per evitar problemes de corrosió i oxidació en la instal·lació al llarg del temps, la normativa UNE EN 1264 indica la necessitat de que aquestes canonades tinguin una barrera antidifusió d'oxigen. Per al PEX el compost més comú és l'EVAL (Etil-vinil-alcohol). [29]

Referent a les dimensions de les canonades, aquestes varien en funció de la tipologia d'edifici. Per a un edifici d'ús residencial i un sistema de baix perfil només de calefacció els tubs han de tenir una dimensió de 9,9x1,1 [mm]. El model seleccionat és el Minitec Comfort Pipe de Uponor.

Per dimensionar les canonades s'han de tenir en compte les següents consideracions:

- Velocitat màxima, 2 [m/s].
- Pèrdua de càrrega màxima per unitat de longitud de 40 [mm.c.a/m].

Utilitzant un àbac disponible a la fitxa tècnica de les canonades PEX de l'empresa Funcosa, imposant una velocitat del flux de 1 [m/s] i un diàmetre interior de 9,9 [mm], resulta un cabal aproximat de 300 [L/h], acceptat pel grup d'impulsió instal·lat.

Càlcul de la longitud de la canonada de cada circuit

La Equació 39 permet saber quina longitud han de tenir les canonades dels circuits d'aigua calenta del terra radiant.

$$L = \frac{A}{e} + 2 \cdot l$$

Equació 39. Equació pel càlcul de la longitud de canonada PEX per a cada circuit. Font: [24]

Essent:

- A: Àrea a climatitzar coberta pel circuit [m²].
- e: Separació entre canonades; 0,2 [m].
- l: Distància entre el col·lector i l'àrea a climatitzar [m].

Habitatge Alt			
Circuits	Àrea climatitzar [m ²]	l [m]	L [m]
Menjador	53,36	2,66	272,12
Dormitori petit	10,73	2,79	59,23
Dormitori gran	11,154	4,78	65,33
Cuina-Lavabos	23,423	3,22	123,55
Habitatge Baix			
Circuits	Àrea climatitzar [m ²]	l [m]	L [m]
Menjador	37,52	3,75	195,1
Dormitori petit	9,44	4,16	55,52
Dormitori gran	15,84	3,87	86,94
Cuina-Lavabos	35,86	2,62	184,54

Taula 16. Resum de la longitud de la canonada de cada circuit

El model seleccionat és la canonada PEX amb barrera Etilvinil-Alcohol de 9,9x1,1 [mm], aquesta es pot comprar a l'empresa Uponor en unitats de 240 [m]. Això suposa que en el circuit del menjador de l'habitatge de d'alt, on la longitud requerida és major que la que es pot aconseguir en un sol tram, s'haurien d'ajuntar dues unitats.

El punt de unió de les dues connexions, seria un punt dèbil de la instal·lació, per tan el que es vol és evitar-lo. Per tal d'aconseguir-ho, s'ha decidit augmentar la separació entre canonades als 0,25 [m] i d'aquesta manera només necessitar 218,76 [m] de canonada i evitar que hi hagi un punt dèbil a la instal·lació.

Però, òbviament, aquesta solució d'augmentar la separació entre canonades provoca que no es pugui escalfar igual que es faria amb el dimensionament inicial. Per sort, als menjadors dels dos habitatges hi ha llars de foc, que permeten garantir l'escalfament de l'estança que no es pugui aconseguir a causa d'aquest problema de la longitud de la canonada. [27]

Configuració de les canonades

La configuració que adopten les canonades per on circula l'aigua calenta, no ha de ser aleatòria, aquesta ha de ser tal que les canonades d'anada i retorn es col·loquin una al costat de l'altra en tots els trams del circuit, ja que han de garantir una repartiment homogeni del calor per a tota la superfície. Les canonades s'estenen formant serpentins o espirals en dos formes bàsiques, en doble serpentí o espiral, [Figura 17](#). Com a regla general sempre es comença a uns 10-15 cm d'una de les parets exteriors o límits del circuit i s'alinea el tub d'anada de forma paral·lela al mateix.

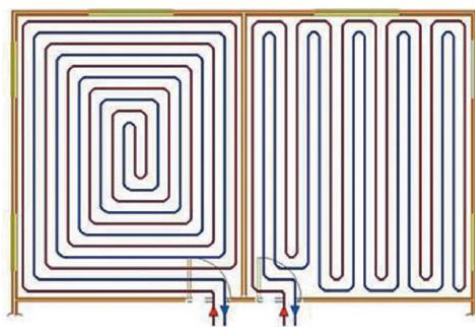


Figura 17. Configuracions possibles de les canonades PEX. Font: [23]

En el cas del doble serpentí es realitza intercalant una línia d'anada i una de retorn, d'aquesta manera s'aconsegueix dos canonades paral·leles d'anada seguides de dos de retorn. Aquesta configuració podria provocar franges de superfície més calentes i altres de més fredes.

L'altra configuració, la de serpentí, consisteix en desenrotllar les canonades des dels límits exteriors fins al centre de la habitació, deixant espai entre dues línies per a la canonada de retorn i que al final entre totes les línies hi hagi la mateixa separació. Una vegada arribat al centre es fa un gir de 180° i es surt pel mig de l'espai buit.

La configuració en espiral és la que millor homogeneïtza la temperatura del terra radiant i la que millor optimitza la calor en el sentit que voreja tot l'exterior de l'habitació amb la canonada d'anada, i així la primera zona que escalfa és per on més pèrdues hi ha.

4.5.1.3 Grup impulsíó

El grup d'impulsíó seleccionat per a la instal·lació serà el Fluvia T grupo de impulsíón PUSH-23-B-W de Uponor. Aquest equip inclou una bomba hidràulica Grundfos Alpha 2L, una vàlvula termostàtica amb sonda capil·lar (20-55 [°C]), un termòmetre d'impulsíó, vàlvula d'equilibrat, vàlvula de retorn, connexió al primari de 3/4" i al secundari de 1".

Aquest equip accepta un cabal d'entre 0,1-2,5 [m³/h], una alçada màxima de 2,4 [m.c.a], una temperatura màxima al primari de 90 [°C], igual que la tarda en la instal·lació projectada i una temperatura màxima al secundari de 55 [°C], inferior a la requerida en aquest projecte. [27]

4.5.1.4 Banda perimetral

La banda perimetral ha de separar les parets de l'estança de la llosa de morter que es col·loca sobre els tubs emissors, provocant que sigui un terra flotant i així absorbir les dilatacions del morter que es produiran durant l'escalfament. La UNE EN 1264 que regula la instal·lació de terres radiants diu que la banda perimetral ha de permetre una expansíó per dilatació de com a mínim 5 [mm]. D'aquesta manera s'evita que amb aquestes dilatacions es produeixin esquerdes a les parets i alhora es redueixi la transferència de calor entre el terra i les mateixes parets. [29]

El material que s'utilitza per a aquesta banda perimetral ha de ser aïllant, normalment els més habituals solen ser el poliuretà o poliestirè expandit.

La instal·lació d'aquesta banda consisteix en adherir a la base de les parets del local que es vol climatitzar, des del terra base (original) fins a la cota superior del terra flotant. Com que el cas projectat es de baix perfil tindrà una alçada màxima de 15 [mm]. El model seleccionat per a aquest projecte és el Minitec sòcol perimetral de reforma, de l'empresa Uponor. [28]

4.5.1.5 Panell portatubs

Aquest panell té la funció de conduir les canonades i mantenir-les en la situació correcta, i també té la funció d'aïllar tèrmicament la instal·lació, evitant que la calor es propagui cap al forjat. Hi ha dos tipus de panells en funció del disseny, el que és completament llis i el que té tetons. Ambdós casos el material utilitzat per a la seva fabricació és el mateix poliestirè expandit (EPS) d'alta densitat gràcies al seu baix cost, tot i que també es pot utilitzar el poliestirè extruït (XPS).

Les dues possibilitats de disseny tenen les seves avantatges, el panell llis permet una transmissió de calor cap a la superfície més bona que el panell amb tetons, però en canvi aquest segon permet una subjecció molt millor.

El model seleccionat per a aquest projecte és el panell portatubs Minitec autoadhesiu de l'empresa Uponor, ja que a menys que la curvatura que se li vulgui donar al tub sigui molt petita no es requereix de grapes per subjectar-lo. [27]

4.5.1.6 Morter

Al ser un sistema de calefacció de baix perfil el morter no cobra la importància que tindria en una instal·lació convencional de terra radiant, ja que en el nostre cas no pren protagonisme com a element amb molta inèrcia tèrmica sinó que només fa de material anivellant per cobrir els tetons i permetre la bona col·locació del paviment definitiu.

4.5.1.7 Altres

Regulador de caudal

El regulador indica el cabal que circula per la canonada mitjançant un èmbol. Aquest regulador està tarat al cabal imposat pel tècnic durant la posada en marxa del sistema, perquè hi hagi un equilibri hidràulic en la instal·lació.

Termòmetres

L'equip de distribució Vario Plus col·lector de 2 sortides disposa de dos termòmetres que permeten comprovar el gradient tèrmic entre la canonada d'anada i la de retorn, per informar al sistema de regulació i control i que aquest actuï davant la necessitat o no d'engegar la caldera per reescalfar l'aigua.

Purgador

L'equip de distribució Vario Plus col·lector de 2 sortides disposa de dos purgadors manuals que permeten una evacuació segura de l'aire. Donada la ubicació d'aquest equip col·lector a la part més alta de circuit no requereix d'una instal·lació independent de purgadors automàtics.

Aixeta de buidat

L'equip de distribució també disposa de vàlvules de buidat que permeten el buidat o ompliment de la instal·lació.

Armari

L'armari té la funció de protegir l'equip de distribució de manipulacions no desitjades. En aquest projecte s'instal·larà un armari de 4 sortides a cada un dels pisos.

4.5.2 Elements de regulació i control

El principal objectiu d'aquest element és fer funcionar el sistema de forma optimitzada, per tant s'encarreguen de proporcionar el màxim confort amb el mínim consum d'energia possible.

Existeixen diferents maneres de realitzar la regulació de la instal·lació, en funció de quina temperatura controlis, la d'impulsió, la de retorn, l'ambient... en aquest projecte s'ha escollit controlar la temperatura de l'exterior, ja que permet disminuir l'efecte de inèrcia tèrmica, mantenint la temperatura interior constant.

El control es basa en que la temperatura d'entrada a les canonades del terra radiant, augmenta o disminueix en funció de la temperatura exterior. Una variació de la temperatura exterior tardarà un cert temps a notar-se al interior, i és aquest temps el necessari per a que el sistema de calefacció reaccioni i augmenti o disminueixi la temperatura d'entrada.

Els elements principals de regulació són:

- Centraleta de regulació: Dispositiu que pren les decisions en funció de la informació que se li proporciona. La seleccionada serà el model Wired C35 de 12 canals, de l'empresa Uponor.
- Sondes: Elements que encarregats de percebre els canvis i donar o rebre informació de la centraleta. De sondes n'hi ha de molt tipus diferents, les que s'utilitzen en aquesta

instal·lació són la sonda exterior, que es col·loca a la cara nord i indica la temperatura exterior; la sonda d'impulsió, és la que s'introdueix a la canonada d'impulsió.

- Actuadors: Són vàlvules mescladores de l'aigua de la font energètica amb l'aigua de retorn. Aquestes calculen la proporció d'aigua calenta que prové de la font energètica necessària a introduir en el circuit en funció de la temperatura de l'aigua de retorn per a que la temperatura aconseguida al interior de l'habitatge sigui la confort.
- Termòstat: Element que controla la temperatura de l'habitatge i comanda directament un als actuadors per modificar la temperatura confort, sense instal·lar una centraleta de regulació.

5 Programa de manteniment

Per tal d'assegurar el bon funcionament de la instal·lació, augmentar la fiabilitat i allargar la duració de la mateixa es defineixen dos plans d'actuació recomanats per CTE-DB-HE 4. [3]

Pla de vigilància

El pla de vigilància es refereix bàsicament a les operacions que permeten assegurar els valors operacionals de la instal·lació siguin correctes. És un pla d'observació simple dels paràmetres funcionals principals, per verificar el correcte funcionament de la instal·lació. Tindrà l'abast descrit en la taula de la Figura 18.

Elemento de la instalación	Operación	Frecuencia (meses)	Descripción
CAPTADORES	Limpieza de cristales	A determinar	Con agua y productos adecuados
	Cristales	3	IV condensaciones en las horas centrales del día
	Juntas	3	IV Agrietamientos y deformaciones
	Absorbedor	3	IV Corrosión, deformación, fugas, etc.
	Conexiones	3	IV fugas
CIRCUITO PRIMARIO	Estructura	3	IV degradación, indicios de corrosión.
	Tubería, aislamiento y sistema de llenado	6	IV Ausencia de humedad y fugas.
CIRCUITO SECUNDARIO	Purgador manual	3	Vaciar el aire del botellín
	Termómetro	Diaria	IV temperatura
	Tubería y aislamiento	6	IV ausencia de humedad y fugas.
	Acumulador solar	3	Purgado de la acumulación de lodos de la parte inferior del depósito.

IV: inspección visual

Figura 18. Planificació del pla de vigilància. Font: [3]

Pla de manteniment

Al pla de manteniment a diferència del de vigilància són operacions d'inspecció visual, verificació d'actuacions, que han de permetre mantenir dins el límits acceptables les condicions de funcionament, prestacions, protecció i durabilitat de la instal·lació.

Aquest manteniment implicarà, com a mínim, una revisió cada sis mesos ja que la superfície de captació de la instal·lació és major a 20 [m²] i es durà a terme per personal tècnic competent.

En les taules del seguit de Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23, Figura 24 es detallen les operacions que han de realitzar-se en la instal·lació solar tèrmica per a producció d'aigua calenta.

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Captadores	6	IV diferencias sobre original
Cristales	6	IV diferencias entre <i>captadores</i>
Juntas	6	IV condensaciones y suciedad
Absorbedor	6	IV agrietamientos, deformaciones
Carcasa	6	IV corrosión, deformaciones
Conexiones	6	IV deformación, oscilaciones, ventanas de respiración
Estructura	6	IV aparición de fugas
Captadores*	6	IV degradación, indicios de corrosión, y apriete de tornillos
Captadores*	12	Tapado parcial del campo de <i>captadores</i>
Captadores*	12	Destapado parcial del campo de <i>captadores</i>
Captadores*	12	Vaciado parcial del campo de <i>captadores</i>
Captadores*	12	Llenado parcial del campo de <i>captadores</i>

Figura 19. Pla de manteniment del sistema solar, Taula 1. Font: [3]

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Depósito	12	Presencia de lodos en fondo
Ánodos sacrificio	12	Comprobación de desgaste
Ánodos de corriente impresa	12	Comprobación del buen funcionamiento
Aislamiento	12	Comprobar que no hay humedad

Figura 20. Pla de manteniment del sistema solar, Taula 2. Font: [3]

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Intercambiador de placas	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza
Intercambiador de serpentín	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza

CF: control de funcionamiento

Figura 21. Pla de manteniment del sistema solar, Taula 3. Font: [3]

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Fluido refrigerante	12	Comprobar su densidad y pH
Estanqueidad	24	Efectuar prueba de presión
Aislamiento al exterior	6	IV degradación protección uniones y ausencia de humedad
Aislamiento al interior	12	IV uniones y ausencia de humedad
Purgador automático	12	CF y limpieza
Purgador manual	6	Vaciar el aire del botellín
Bomba	12	Estanqueidad
Vaso de expansión cerrado	6	Comprobación de la presión
Vaso de expansión abierto	6	Comprobación del nivel
Sistema de llenado	6	CF actuación
Válvula de corte	12	CF actuaciones (abrir y cerrar) para evitar agarrotamiento
Válvula de seguridad	12	CF actuación

IV: inspección visual

CF: control de funcionamiento

Figura 22. Pla de manteniment del sistema solar, Taula 4. Font: [3]

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que está siempre bien cerrado para que no entre polvo
Control diferencial	12	CF actuación
Termostato	12	CF actuación
Verificación del sistema de medida	12	CF actuación

CF: control de funcionamiento

Figura 23. Pla de manteniment del sistema solar, Taula 5. Font: [3]

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Sistema auxiliar	12	CF actuación
Sondas de temperatura	12	CF actuación

CF: control de funcionamiento

Figura 24. Pla de manteniment del sistema solar, Taula 6. Font: [3]

6 Estudi econòmic

En aquest apartat es presenta de manera ordenada els diferents costos necessaris per a la implementació de la instal·lació. Aquest càlcul de la inversió inicial s'explica de manera exhaustiva diferenciant entre els costos directes i els costos indirectes a l'apartat 4 (Annex).

Costos directes

En aquests costos directes s'especifiquen només el cost dels materials utilitzats per a la instal·lació i els honoraris del projectista. Els preus que es mostren són els de venda al públic (PVR), IVA incorporat, però a aquest se li ha aplicat un descompte d'un 20% ja que la compra la fa un majorista (PVD).

Per la compra de material el cost ascendeix a 26.973,71€ (PVR), però amb la compra a preu de majorista aconseguint una reducció del 20% del cost, el preu final és de **21.578,97€** (PVD).

Aquí s'inclouen també els honoraris del projectista. En aquest cas un enginyer junior amb una dedicació a jornada completa de 20 dies i una retribució de 20 [€/h], el cost ascendeix a **3.200€**. La dedicació al projecte és molt superior però només s'ha realitzat una estimació de les hores de treball dedicades al càlcul, pel dimensionament de la instal·lació, no les hores dedicades a la comprensió, ni recerca de tota la informació. A aquests honoraris se li han d'aplicar l'IVA del 21%, corresponent a **672€**.

Llavors, la suma total dels costos directes ascendeix a **25.450,97 €**.

Costos indirectes

Els costos indirectes representen tots els costos de gestió, organització, lloguer de magatzems, instal·lacions, etc., també s'inclouen el cost del personal tècnic i imprevistos. Com que no es té coneixement del cost d'aquest elements, s'han establert a partir d'un percentatge dels costos directes. En obres públiques el percentatge màxim permès és d'un 15% i en obres entre privats enlloc s'indica quin és el percentatge màxim. Per això en aquest projecte s'ha decidit establir els costos indirectes a partir del 15% dels directes. [30]

En resum, els costos totals indirectes són **3.236,846 €**.

Cost total

Llavors, finalment el cost total de la inversió és de **28.687,82 €**.

6.1 Valor Actual Net (VAN)

El VAN és un indicador de la rendibilitat d'una inversió, és la suma actualitzada dels fluxos de tresoreria al llarg de l'horitzó del projecte. [31]

El procediment de càlcul s'expressa com la diferència entre la inversió inicial (que no s'actualitza ja que es genera en el moment inicial) i el valor actualitzat, al mateix moment, dels cobrament i pagaments futurs, a els que s'anomena com a flux de tresoreria.

Però aquí, s'ha de tenir en compte l'interès bancari del que no es beneficia la inversió inicial, ja que enlloc de dipositar-lo al banc i obtenir beneficis immediats, s'ha utilitzat per a fer el pagament de la instal·lació, amb l'esperança que aquesta sigui rentable.

D'aquesta manera vol dir que si s'obté un VAN positiu la inversió és rentable, en cas contrari no ho serà.

L'expressió que permet el càlcul del VAN és la [Equació 40](#):

$$VAN = \sum_{\tau=0}^n \frac{Q_{\tau}}{(1+k)^{\tau}} = -Q_0 + Q_1 \cdot (1+k)^{-1} + Q_2 \cdot (1+k)^{-2} + \dots + Q_n \cdot (1+k)^{-n}$$

Equació 40. Equació pel càlcul del VAN. Font: [29]

Essent:

- Q_0 : Inversió inicial, 28.015,82 [€].
- Q_n : Flux de tresoreria en el període τ , [€].
- n : Horitzó del projecte [anys].
- τ : Període d'estudi [1,2,3...30].
- k : Taxa d'interès.

Taxa d'interès

Ara el que manca és saber quina taxa d'interès hi ha per a aquesta inversió. Actualment l'interès que et podrien donar en una entitat bancària no seria al 1%.

Flux de tresoreria

També és necessari conèixer quin és l'estalvi de consum de gas natural que s'aconsegueix gràcies a la instal·lació solar tèrmica i quina és la seva equivalència en euros.

- Estalvi consum de gas natural: L'energia anual que aporta la instal·lació solar tèrmica i s'aprofita per abastir la demanda és de 13.123,26 [KWh].

Prenent que la caldera de gas natural té un rendiment del 80% i la energia consumida és de 16404,075[KWh], això equival a 734,90256 € si es té contractada la tarifa òptima de gas natural, que és l'adequada per a consums superiors a 5.000 $\left[\frac{Kwh}{any}\right]$, i que imposa un preu de 0,0448 $\left[\frac{€}{KWh}\right]$.

- Cost de manteniment de la instal·lació: Si es considera un valor bastant encertat un cost de manteniment anual de 60 €, per tal de disposar del seguit de revisions realitzades per un tècnic especialitzat que recomana el pla de vigilància i de manteniment del CTE per a instal·lacions solars.

Llavors, la inversió és rentable a partir de l'any 56 de la seva posada en marxa com s'observa a la Taula 17 i Figura 25.

DESENVOLUPAMENT DE LA RENDIBILITAT								
Any	0	1	2	3	...	54	55	56
Inversió	28015,82							
Cost Manteniment		-60	-60	-60		-60	-60	-60
Estalvi Consum Gas		734,903	734,903	734,903		734,903	734,903	734,903
Flux Tresoreria	-28015,82	674,903	674,903	674,903		674,903	674,903	674,903
VAN	-28015,82	668,2204	661,605	655,054		394,355	390,450	386,5842
VAN Acumulat	-28015,82	-27347,60	-26685,99	-26030,94		-633,02	-242,572	144,0121

Taula 17. Desenvolupament del VAN en funció dels anys

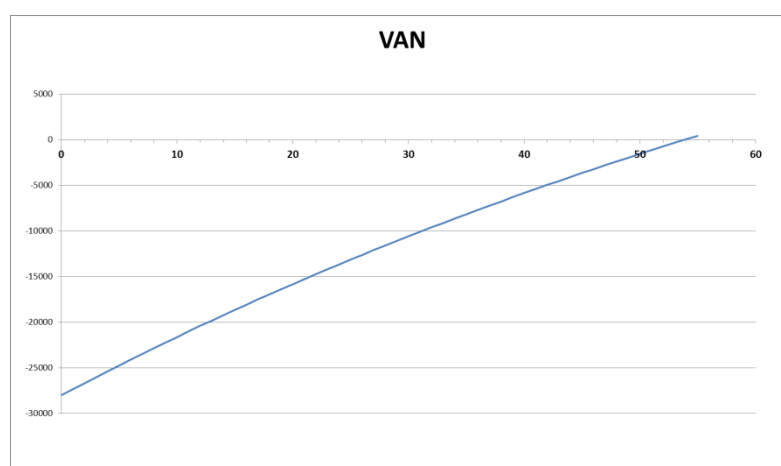


Figura 25. Gràfic del creixement del VAN en funció dels anys.

7 Estudi ambiental

El que és vol aconseguir amb aquest estudi ambiental és fer una estimació de la reducció d'emissions de CO₂ que suposa la implementació de la instal·lació solar tèrmica per abastir la demanda d'ACS i la de calefacció de l'habitatge. Si bé, en l'estudi només es tindrà en compte les emissions generades durant la utilització de la instal·lació. A causa de l'abast d'aquest projecte en cap cas es contemplarà l'estudi d'un altra etapa del cicle de vida dels productes que conformen la instal·lació, ni l'obtenció ni el seu futur reciclatge. [33]

El procediment seguit es basa en saber la quantitat d'energia que pot arribar a abastir la instal·lació solar mitjançant els captadors i per tan la quantitat de gasos que s'ha estalviat d'emetre si aquesta s'hagués obtingut per mitjà de la instal·lació auxiliar.

El càlcul d'emissions de CO₂ que es deixen de generar amb la instal·lació solar segueix la [Equació 41](#):

$$Emissió\ CO_2 = E \cdot \frac{1}{F2} \cdot F1$$

Equació 41. Equació pel càlcul de les emissions de CO₂

Essent:

- Energia aportada per la instal·lació solar = $E = 13123,26 \left[\frac{Kwh}{any} \right]$
- Factor conversió = $F1 = 2,15 \left[\frac{Kg\ CO_2}{Nm^3\ gas\ natural} \right]$
- Factor conversió = $F2 = 11,83 \left[\frac{Kwh}{Nm^3\ gas\ natural} \right]$
- La quantitat d'emissions de CO₂ que es deixen de produir és de $2385,04 \left[\frac{Kg\ CO_2}{any} \right]$.

Sense la instal·lació solar, si tota la demanda s'hagués d'abastir amb la instal·lació auxiliar de gas natural, com succeeix actualment, l'emissió de CO₂ segueix la mateixa fórmula anterior, però enlloc de la energia aportada per la instal·lació solar, hi va la demanda.

Essent:

- Demanda total = $D = 27991,96 \left[\frac{Kwh}{any} \right]$

La quantitat d'emissions de CO₂ que es produirien seria de $5087,3 \left[\frac{\text{Kg CO}_2}{\text{any}} \right]$. Per tan la instal·lació permet una reducció de les emissions de CO₂ del 47%.

En aquest apartat és encertat comentar que ambdós habitatges disposen d'estufes de llenya que no s'han tingut en consideració alhora de satisfer la demanda energètica ja que malgrat ser perfectament funcionals, es tracta més d'elements decoratius no pas ideats per a escalfar l'habitatge.

Les estufes de llenya però en cas d'utilitzar-se permetrien una reducció encara major de les emissions de CO₂, ja que són elements que utilitzen la fusta per a produir energia i aquesta és una matèria amb una petjada de carbó negativa. Això vol dir que al llarg del seu cicle de vida consumeix més CO₂ que no pas el que allibera en la seva combustió. [34]

8 Planificació

A la [Figura 26](#) es mostra de manera detallada la planificació de les activitats per a la realització d'aquest projecte des de l'elecció del tema fins a la seva entrega.

Durant les primeres setmanes fins a mitjans de Març el projecte no estava definit del tot. Amb això vull dir, que sí es sabia que es volia utilitzar una instal·lació solar per a l'obtenció d'energia, però no es tenia clar en què s'aprofitaria després aquesta energia generada. Aquesta situació impedia una mica l'avanç del projecte durant aquestes primeres setmanes però no el bloquejava ja que tota la part relativa a la instal·lació solar se'n podia anar cercant informació.

Fou la segona quinzena de Març quan es va decidir fer ús de l'energia solar per l'abastiment del sistema de calefacció i ACS d'una casa plurifamiliar i en conseqüència ja es va poder començar el dimensionament de la instal·lació solar que gairebé va durar fins a principis de Juny degut a les múltiples correccions que es varen haver de fer per motius de falta de components de les característiques desitjades o per millors solucions contemplades a posteriori.

Un cop el dimensionament de la instal·lació solar, ja tenia un cert sentit i jo ho començava a entendre amb més claredat, es va començar amb la recerca d'informació sobre el sistema de calefacció, el segon gran bloc d'aquest projecte. En aquest sistema de calefacció com que el dimensionament no suposa un càlcul tan feixuc com al sistema solar, es va decidir realitzar una redacció conjunta alhora que s'anaven dimensionant i escollint els components de les empreses.

Aquest dos grans blocs del projecte el sistema solar i el sistema de calefacció es van anar desenvolupant més o menys conjuntament, i es van allargar fins a mitjans de Maig. Un cop definits només faltava desenvolupar el darrer bloc que era l'acoblament entre el sistema solar i els dos sistemes de consum, el de calefacció i el d'ACS. Aquest darrer com que en el cas del projecte la instal·lació ja estava feta només era necessari l'acoblament i per tan la simplicitat era molt major que al sistema de calefacció.

Finalment, ja entrant el Juny es van definir tots els punts d'estudis que requerien de la finalització de tots el punts previs per a materialitzar-se.

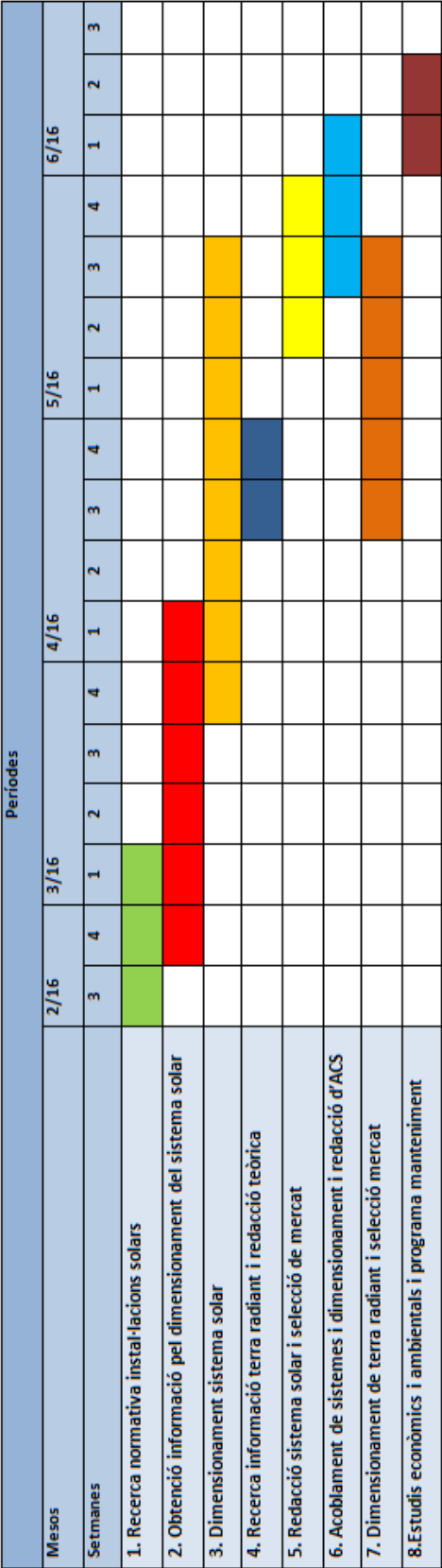


Figura 26. Gant. Font: pròpia

Conclusions

L'idea d'aquest projecte era saber si era possible un abastiment d'aigua calenta al sistema de calefacció i d'ACS únicament fent ús de la instal·lació solar. En aquest moment, després de desenvolupar tot aquest treball puc afirmar que els objectius s'han complert, ja que es dona resposta a aquesta pregunta, malgrat aquesta es podria definir com un depèn.

Depèn de com ho miris, si es mira només estrictament l'aspecte econòmic, la instal·lació només és rentable a partir de 50 anys o sigui que és una decisió que s'ha de meditar. Però aquest depèn, anava dirigit més a l'aspecte mediambiental. Si algú li hi dona molta importància potser per a ell si és rentable aquesta instal·lació. El que si és segur, és que actualment, malgrat es doni alguna subvenció a nivell estatal o europeu a qui vulgui implementar algun sistema d'energies renovables a casa seva, el cost és excessivament elevat.

Si bé, cal clarificar que l'estudi de la viabilitat econòmica s'ha realitzat del cost de tota la inversió. Aquí potser s'hauria de restar el cost del sistema de calefacció, ja que sigui d'un tipus o d'un altre, algun sistema s'instal·larà a casa, per tan la viabilitat serà major, però mai serà una instal·lació rentable a menys de 30 anys.

Del projecte també es pot concloure que el millor moment per a dur a terme una instal·lació d'aquesta classe és realitzar-la alhora que es construeix la casa, per tan el dimensionament i tot l'estudi s'ha de realitzar en la fase de disseny. D'aquesta manera es poden reduir bastant els costos d'instal·lació i segur que el rendiment dels components pot ser major.

Un darrer punt a comentar és que encara que la implementació de captadors solars és positiva per l'estalvi d'energia, no és la solució idònia. Lo ideal és que els habitatges redueixin el consum d'energia, ja sigui augmentant la inèrcia tèrmica dels tancaments, utilitzar millors materials, reutilització d'aigües... i que la energia que hagin de consumir la obtinguin de sistemes d'energies renovables, mitjançant els captadors solars, per exemple. Encara que la inversió inicial sigui superior a un edifici convencional, sempre són rentables aquests tipus d'edificis de baix consum d'energia a mig-llarg termini.

Agraïments

En primer lloc, vull agrair a Joaquim Lloveras Macia, director del projecte, per haver-me guiat al llarg del projecte i donat resposta a tots els dubtes que m'han sorgit.

També m'agradaria donar les gràcies al Departament de Manteniment de l'Hospital Universitari Josep Trueta (Girona), per deixar-me visitar i explicar-me el funcionament dels diferents sistemes d'instal·lacions d'energies renovables de que disposen. Malgrat al final no haver encaminat el treball cap a l'abastiment energètic de l'hospital, volia tenir un record pels moments que em varen dedicar.

Finalment, agrair el suport de la família i amics, que sempre estan allà.

Bibliografia

- [1] Ministerio de Fomento, "Documento Básico HE, Ahorro de energía," CTE, HE 1 Limitación de la demanda energética, pp. 15–44, 2016.
- [2] (Asociación Nacional de Industriales de Materiales Aislantes) ANDIMA, "Soluciones con Aislamiento de Lana Mineral," in *Guías técnicas para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios*, IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), Ed. Madrid, 2007, pp. 1–30.
- [3] Ministerio de Fomento, "Documento Básico HE, Ahorro de energía," CTE, HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, pp. 57-70, 2016.
- [4] Joint Research Center, Photovoltaic Geographical Information System-Interactive Maps-Europe. [<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>]*. *[Accedit: 15/03/16]
- [5] UNE EN 94002:2005, "Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica". AENOR. p 1-12.
- [6] Plan de Formación del CTE. Grupo de Formadores Andalucía, "Instalaciones Solares Térmicas, Predimensionado y Dimensionado", CSCAE, pp. 1–112.
- [7] Jordi Jarque, "La mejor temperatura para soñar", *Magazine*, 24-Abril-2016.
- [8] "Cálculo Cargas Térmicas." [<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4183/fichero/2.-+anexo+calculo%252F5.-+calculo++cargas+termicas.pdf>]*. *[Accedit:30/03/16]
- [9] Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas, "Consulta de datos catastrales" [<http://es.goolzoom.com/>]*. *[Accedit: 3/04/16].
- [10] M. Gómez Mate, "Método de cálculo F-Chart," pp. 113–115, 2011; M. Hernández, "Manual de utilización de la metodología Fchart," pp. 1–24, 2004; F. Obaco and J. Jaramillo, "Sistemas solar-térmicos: algoritmo operativo para aplicar el método F- Chart en la evaluación de colectores solares," pp. 1–3, 2010.
- [11] Conselleria d'infraestructures i transport Generalitat Valenciana, "*Guía práctica de Energía Solar Térmica*". AVEN, Valencia, 2010; Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), "Instalaciones de energía solar térmica," p. 114, 2009.
- [12] Lumelco, "*Soluciones de Calefacción y ACS*". Lumelco, 2015.
- [13] Vaillant, *Calefacción solar en vivienda individual, ACS residencial colectivo, ACS y Calefacción sector terciario*. Vaillant.
- [14] Fagor, *Energía Solar Térmica*, vol. 53, no. 9. Fagor, 2013.
- [15] "Ficha del producto para el consumo de energía Logasol," vol. 6720844826, p. 35576, 2015.

- [16] (Agencia Estatal de Meteorología) AEMET, “Datos climatológicos”, [http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/efemerides_extremos?*w=0&k=cat&l=0370B&datos=det&x=0370B&m=13&v=Tmn]*. *[Accedit: 5/04/16]
- [17] (Asociación Solar de la Industria Térmica) ASIT, “Guía asit de la energía solar térmica”, 2010.
- [18] Potermic, “Líquido anticongelante y anticorrosivo ANTIFROST,” in *Catálogo/Tarifa 2015*, Poter, Ed. Potermic, 2015, pp. 127–128.
- [19] (Centro Español de Información del Cobre) CEDIC, “Tubos y Accesorios de Cobre, Medidas y Normas.” Madrid; (Centro Español de Información del Cobre) CEDIC, “La elección profesional La elección profesional,” pp. 1–2, 2008.
- [20] UNE EN 1057:2007+A1:2010, “Cobre y aleaciones de cobre. Tubos redondos de cobre, sin soldaduras ,para agua y gas en aplicacions sanitarias y de calefacción” AENOR. p 1-40.
- [21] UNE EN 100155:2004, “Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión”. AENOR. p 1-28.
- [22] Potermic, “Vasos de expansión para instalaciones solares,” in *Catálogo/Tarifa 2015*, no. mm, Potermic, Ed. Potermic, 2015, pp. 121–122.
- [23] (ATECYR) Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, “Guía técnica de agua caliente sanitaria central,” in *Ahorro y Eficiencia Energética en la Climatización*, vol. 1, IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), Ed. Madrid: IDAE, (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2010.
- [24] (Asociación de Fabricantes de Generadores y Emisores de Calor por Agua Caliente) FEGECA, “Guía práctica sobre instalaciones centralizadas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en edificios de viviendas,” in *Área de Eficiencia y Ahorro Energético*, Madrid: IDAE, (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2011, p. 88.
- [25] “Suelo Radiante”. [<http://www.sueloradiante.com/>]*. *[Accedit:1/06/16]
- [26] M. Garrido, J. V. Zamora, I. Ortega, and I. R. Castaño, *Guía de Emisores de Calefacción a Baja Temperatura de Agua*. Madrid: Consejería de Economía y Hacienda, organización Dirección General de Industria, Energía y Minas, 2014.
- [27] Uponor, “Manual técnico de Climatización Invisible.”
- [28] Uponor, “Tarifa 2015”, Uponor. [<https://www.uponor.es/soluciones/climatizaci%C3%B3n-invisible/suelo-radiante.aspx>]*. *[Accedit: 20/04/16]
- [29] UNE EN 1264-2:2009+A1:2013, “Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies. Parte 2: Suelo radiante: Métodos para la determinación de la emisión térmica de los suelos radiantes por cálculo y ensayo”. AENOR. p 1-46.
- [30] Ministerio de Fomento, “Documento Básico HS, Salubridad,” CTE, pp. 1–129, 2015.

- [31] Gobierno de Canarias, “Costes indirectos declarados sobre una base a tanto alzado. Análisis para Canarias,” pp. 1–42, 2012.
- [32] Departament d’Organització d’Empreses, “Introducció a la gestió i l’enginyeria d’organització”, Organització i Gestió –ETSEIB
- [33] Oficina Catalana del Canvi Climàtic, “Guia Pràctica pel Càlcul d’Emissions de Gasos d’efecte Hivernacle (GEH),” 2016.
- [34] B. del Castillo, “Los Productos de Madera y las Compras Públicas Verdes.” CONFEMADERA, (Confederación Española de Empresarios de la Madera).

Annex